

NAMUR

1958

3

Cybernetica

ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CYBERNÉTIQUE
INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CYBERNETICS

Sous la Présidence d'honneur de M. le Gouverneur de la Province de Namur

Conseil d'Administration
Board of Administration

PRÉSIDENT :

M. Georges R. BOULANGER (Belgique), Professeur à la Faculté Polytechnique de Mons et à l'Université Libre de Bruxelles.

MEMBRES :

MM. René CLOSE (Belgique), Avocat.

Louis COUFFIGNAL (France), Inspecteur Général de l'Instruction Publique, Directeur du Laboratoire de Calcul Mécanique de l'Institut Blaise Pascal, Paris.

John DIEBOLD (U.S.A.), President of John Diebold and Associates, Inc., New York.

W. Grey WALTER (United Kingdom), Sc.D., Burden Neurological Institute, Bristol.

ADMINISTRATEUR-DÉLÉGUÉ :

M. Josse LEMAIRE (Belgique), Directeur de l'Office Économique, Social et Culturel de la Province de Namur.

CYBERNETICA

est la revue de l'Association Internationale de Cybernétique.
Elle paraît 4 fois par an.

*is the review of the International Association for Cybernetics.
It is issued four times a year.*

Prix et conditions de vente — Price and conditions of sale.

Abonnement annuel — *Yearly subscription:*

membres de l'Association	150,— F. B.
<i>members of the Association</i>	150,— F. B.
non-membres :	300,— F. B.
<i>non-members :</i>	300,— F. B.

Par numéro — *Each number:*

membres de l'Association	50,— F. B.
<i>members of the Association</i>	50,— F. B.
non-membres :	100,— F. B.
<i>non-members :</i>	100,— F. B.

Toute correspondance concernant la revue est à adresser à l'Association Internationale de Cybernétique, 13, rue Basse Marcellle, Namur (Belgique).

All correspondance concerning the review is to be sent to the International Association for Cybernetics, 13, rue Basse Marcellle, Namur (Belgium).

Secrétaire de Rédaction : M. Roger DETRY.

CYBERNETICA

VOLUME I
Nº 3 - 1958

Revue de l'Association Internationale de Cybernétique
Review of the International Association for Cybernetics

NAMUR

Les articles sont rédigés en français ou en anglais au choix de leurs auteurs.
Ils n'engagent que ces derniers.

La reproduction intégrale ou abrégée des textes parus dans la revue est interdite sans autorisation spéciale de l'Association Internationale de Cybernétique.

The papers are written in English or in French according to the choice of their authors and on their own responsibility.

The complete or the partial reproduction of the papers printed in the review is forbidden without special authorization of the International Association for Cybernetics.

SOMMAIRE *CONTENTS*

Gordon PASK : <i>Organic control and the cybernetic method</i>	155
Jacques SAUVAN : <i>La connaissance objective</i>	174
R. TARJAN : <i>Neuronal automata</i>	189
Robert J. VAN EGTEN : <i>L'automation. — Où en sommes-nous ?</i>	197



Digitized by the Internet Archive
in 2024

https://archive.org/details/cybernetica_1958_1_3

Organic control and the cybernetic method

by Gordon PASK,

*System Research, Solartron Electronic
Group Ltd (Great Britain)*

A manager, being anxious to retire from his position in an industry, wished to nominate his successor. No candidate entirely satisfied his requirements, and after a prolonged but fruitless search, this manager decided that a control mechanism should take his place. Consequently, he engaged four separate cyberneticians. Each of them had been recommended in good faith as able to design a control mechanism which would emulate and improve upon the methods of industrial decision making the manager had built up throughout the years.

It is quite possible that these four cyberneticians adhered to four well defined doctrines, all of which are said to represent cybernetics, but application of which would provide the manager with four different and possibly acceptable kinds of control mechanism.

The first cybernetician adheres to the doctrine of automation and regards a control mechanism as a computer which receives an input from an industry in terms of sensory events (which are defined to occur when the state representing point resides in a specified region of the industry's phase space), and provides an output (which is similarly defined), such that it modifies the state of the industry. Clearly outputs are derived from decisions made by this control mechanism on the basis of sensory data. Selection of a phase space, events and actions implies a relevance criterion imposed by the cybernetician on the control mechanism. In order to determine an appropriate decision function, it is clear that he must obtain from the manager :

(i) a sufficiently detailed model which represents the industry so that its inverse may be built into the control mechanism, and

(ii) an unambiguous specification of the manager's objectives, which must, like the model, be represented in terms appropriate to the relevance criterion.

In other words, it would be insufficient for the manager to specify a long term objective, like maximising production, without defining a hierarchy of relatively short term objectives, like achieving two hundred articles per minute from machine I, and increasing the wages of type II employees, (assuming that articles I, per minute, and wage rates II are variables in the phase space of the industry).

The model needs not be isomorphic with the industry. Usually it is a homomorphism, namely a simplification of the industry in which some distinction between the states has been discarded (without discarding those distinctions relevant to achieving the objective), in such a way that the state changes of the industry are consistently, if incompletely represented in this model.

The second cybernetician believes that a detailed model of the industry is unavailable. Even so he is able to specify a relevance criterion which, in mechanical terms implies a set of relevant events and relevant actions. He builds a control mechanism in which the possible relations between event and event, and action and event are associated with storage devices which register the conditional probabilities of these relations, namely measures of the average number of occasions event u is related to event v or action U is related to and leads to event V . After an interval a statistical model, namely a pattern of conditional probability measures is built up in the set of storage devices and this will, if the industry is stationary, acquire increasingly well defined parameters. Clearly the statistical model may be used to determine a decision function so that, assuming stationarity, the control mechanism will be able to predict the state changes of the industry and deal with them. In practice, the control mechanism will be so designed that a pattern is retained and used to determine a decision function only if a specified overall objective is being achieved.

The third cybernetician adopts a different point of view. He believes that any adequate control mechanism will have much the same characteristic as the manager, and that it is likely to use intuition and unlikely to build up patterns which represent the industry in a direct and logically pertinent manner.

He proposes a device which, at any instant, makes an action which modifies the state of the industry in some way. This activity

is kept up by requiring some action and applying a rule, like, « If an action is adopted, its probability of being adopted upon subsequent occasions is reduced ». In addition, certain input events are defined. The control mechanism is provided with storage devices, but, unlike the storage devices already discussed, they retain a pattern which represents the internal state of the control mechanism as a result of which it adopts certain actions. The control mechanism is designed so that, in the absence of a specified objective, it retains those internal state patterns which lead to events. If the retained patterns determine a decision function, the control mechanism will maximise its interaction, in other words, it will maximise its degree of participation in the industry. Because of this it may be regarded as a catalyst (which tends to potentiate many different reactions), and it may be converted into a specific catalyst (which favours a limited sub-set of reactions), if its design is modified so that it retains a pattern indicating its own state, only if its interaction with the industry is specifically approved.

The simplest kind of approval is obtained by asking the manager to comment about the interaction, and to say whether he considers the control mechanism acts as a desirable and real life manager. If so, the patterns which evoke this kind of interaction are retained and determine the subsequent behaviour of the control mechanism. It is important to note that the manager is asked to comment about the relation of the control mechanism to the industry, and that even if the manager had no objective, the control mechanism would still build up some kind of relationship.

Since a decision function which initially maximised interaction is converted into a more specific decision function as a result of a learning process tutored by the manager's comments, we may regard the control mechanism as translating the manager's concept of decision making into control procedures which it is able to use.

The first cybernetician and the second cybernetician assume that the industry is inanimate, and that whatever personal illusion he may indulge, the manager could have and most likely did, act as a computer. The third and fourth cyberneticians assume that industry is an organic entity, as proposed by Stafford Beer at the 1958 International Congress on Cybernetics, which needs an organic control mechanism.

It is impossible, in the abstract, to say that one or the other is right, but in most cases there would be evidence to support the more intuitively acceptable point of view adopted by the third cybernetician. Although it is clearly possible to consider a process

within industry as inanimate, productive industry at any rate, when viewed as a whole, seems alive. The exceptions to this rule are either lamentable, or would be more appropriately considered as invariantly structured sub-systems of a larger organic entity.

In this case the manager would also have acted as an organic entity, and the discussion which takes place when the first cybernetician or the second cybernetician are obtaining data might be of this kind.

Manager. — I keep telling you my immediate objective was to maximise production of piston rings.

Cybernetician. — Right, I see you did this on a budget of £ 10,000.

Manager. — I bought the new machine and installed it for £ 8,000.

Cybernetician. — Well, how about the remaining £ 2,000 ?

Manager. — We started to make ornamental plaques.

Cybernetician. — Keep to the subject. That has nothing to do with piston rings.

Manager. — Certainly it has. I didn't want to upset Bill Smith. I told you he was sensitive about being a craftsman. So we tried our hand at ornamental plaques, that was my daughter's idea.

Cybernetician. — Which costs you £ 2,000.

Manager. — Nonsense, Bill Smith enjoys the job. He is a responsible chap, and he helps to sober up the hot heads, no its worth every penny.

Cybernetician. — Very well, as you please. Just one other enquiry, though. What is an appropriate model for this process ? What does it seem like to manage a piston ring plant ?

Manager. — It's like sailing a boat.

Cybernetician. — Yes.

They might continue to infuriate each other indefinitely. The more the cybernetician tries to make the manager specific, the less useful data does he obtain. So far as the manager is concerned, « a responsible chap » is a definite entity which has perfectly well

specified characteristics in the industry, and so far as he is concerned management is accurately described as « like sailing a boat », since he has indulged in both pursuits and found them similar. Further, to his mind the issue of piston rings is inseparable from ornamental plaques. On the other hand, to a computer this manager is a stubborn and imprecise old man.

The third cybernetician avoids this impasse by making only one enquiry, and making it repeatedly. He asks the manager to say whether or not the interaction between the industry and a control mechanism, which is a mixture of Dr. McKay's trial making servo-mechanisms and Dr. Ashby's homeostat, is similar to his interaction as a manager. The manager is thus allowed to speak in his own language, and the same comment would apply to the slightly elaborated system which the third cybernetician would use in practice. In this elaborated system the manager and the control mechanism would play a partly competitive and partly cooperative game, in which each attempts to manage the industry. The solution to the game requires a compromise, in the sense that the control mechanism learns a particular structure and the manager concedes certain points about management. The solution implies a mode of behaviour rather than a definite point, and having achieved this condition the control mechanism is equivalent to the manager. But there is a difficulty.

It is possible to distinguish between any control mechanism and its surroundings, using either anatomical or functional criteria. Thus, suppose we envisaged an assemblage of elements which representent components from which the control mechanism and the industry are built up. A distinction which specifies a particular box of components called the control mechanism and a particular set of production lines and work people, would be an anatomical distinction of the control mechanism and the industry. On the other hand, an outside observer, who after examining the system's pattern of behaviour, discerned a consistency such that there were two regions, one, the control mechanism, dominating a region defined as the industry, would be making a functional distinction.

In the case of the control mechanism posed by the first cybernetician and the second cybernetician, the anatomical and functional distinctions provide the same region in the assemblage. There is no difficulty since a well specified relevance criterion used in building the control mechanism implies that the elements in the assemblage which represent production lines and work people in the industry,

and components in the control mechanism, both have well defined functions.

By definition, the production line, for example, is related to some entity like a set of relays in the control mechanism.

But the elements of an organic assemblage rarely have a well defined function, so, for example, if you asked what elements in the brain act as the memory, the reply would be that almost any may perform, and most likely do perform this function as occasion demands.

Extending the argument, we may regard the entities of the control mechanism and the industry as regions in the assemblage. Suppose that these regions are defined anatomically, for example, the control mechanism may be specified as the manager who is a particular man, and that an outside observer agrees that these regions correspond with functionally defined entities. At some later instant the anatomical definition is unchanged, for the manager is still the same man, but if this outside observer is asked to specify the functional control mechanism, and the industry as a functional entity, he will define quite different regions.

Bill Smith, for example, is clearly used as a part of the manager, and functionally he is just as much a part of the manager as the elements in the manager's brain which add up the accounts. Similar comments will apply to any organic control mechanism and to any set of elements specified within it. If we insist on saying the manager is the same man, or the control mechanism is a set of components in a box, then the box concerned will seem indeterminate and will exhibit emergent characteristics. On the other hand, if a functional definition is adopted this means that the region in the assemblage called the control mechanism will continually change.

In this case, have we just selected the wrong kind of anatomical definition? Perhaps a definition of the manager in psychological terms, or of a box in terms of its associated feedback loops would have been appropriate. Although it is true that some methods of defining an individual would be more efficient than others, it is also true that no definition would have avoided the dilemma. The one exception is the omniscient definition, which like the omniscient observer is impossible. The practical point is that when one talks about organic aspects of an assemblage one means those aspects which must be considered from many different points of view if they are to make sense; in other words, they must be examined by changing the relevance criteria from moment to moment in order to achieve the best result.

Here the control mechanism proposed by the third cybernetician is defective. It is made of components like storage devices and amplifiers, and it has well defined input and output connections. Thus, there is a sense in which the conventions of computer technology lead any scientific observer to regard it as anatomically well defined. As a result it will also appear indeterminate and best with emergent characteristics, as though there were something in the box which the designer did not know about. It is no real help to say that the something represents the fact that the control mechanism has extended itself and functionally included elements in its surroundings.

The fourth cybernetician accepts the organic point of view, but wishes to build a different kind of organic control mechanism. The components of which it is made, like the elements of an organic assemblage, lack any well defined functions. Rather their function is assigned as a result of their development.

An organic control mechanism is a functional region defined in an assemblage of elements. These elements are the raw material, in the sense of the building blocks from which an organic control mechanism or the industry is built up, but they are not the most primitive possible entities. The most primitive entities are functionless material which may become an element by dint of the building process which requires an expenditure of energy and a building plan. Energy is made available at a constant rate in the assemblage and may be regarded as currency which is needed for various purposes. Once an element is built, there is a tendency for it to return to the primitive functionless material. To prevent this it must continually rebuild itself, and energy is needed for this purpose. Secondly, an element is defined as the least structured entity able to structure itself. It is self building. Only by continual activity is it able to exist in dynamic equilibrium with its surroundings.

In addition it may act as the plan upon which further structures, elements, or sets of elements are built up. Energy is also needed for this kind of activity. The comments which apply to an element apply also to a structure of elements, which must preserve a dynamic equilibrium by self building activities. Whilst all elements are equally likely to survive in known surroundings, a structure may be more or less likely to survive and in this sense is more or less stable. In general, the stability of a structure is determined by the relation between it and its surroundings.

An assemblage supplied with energy at a finite rate and including unlimited functionless material may be populated with a number

of similar elements. These will undergo continual self building and degeneration, but will be in dynamic equilibrium with one another. However, suppose that any constraint is imposed upon this assemblage, for example, that the distribution of available currency is modified, this will constrain some building process and will modify it and the modification will necessarily act as a constraint upon some other building process in the assemblage so that a sequence of constraints will be produced and will give rise to a structured region. The elements within such a region are definitely related and may be assigned a definite function. But, it is important to note that the structure rather than the material from which it is built is preserved and that although the existence of a structured region implies that certain functions are performed ; there is no specification about which element will perform these functions at any instant.

The progressive sequence of constraints which give rise to a structured region is similar in most respects to the process which Dr. Ashby has described within a design amplifier and is, in general, a process of growth. If the resulting structured region is stable with respect to its surroundings, and in particular if it tends to dominate these surroundings, an organic control mechanism has grown in the assemblage.

We should expect certain characteristics of any assemblage in which an organic control mechanism is likely to occur.

(i) Given a supply of energy or currency, and functionless material, there must be something to start the process off. Many conditions might be used, one of which is to provide a separate control mechanism like the one we have already discussed, which interacts with the region of the assemblage and acts as a catalyst for any element producing reaction system. Soon its influence decreases, it becomes a specific catalyst and of only regional importance.

(ii) Self replication whereby a set of constraints which determine a field distribution at one instant, interact with regional constraints to determine a sequence of change. The interaction of successive constraints is a form of memory system.

(iii) Since the energy or currency is provided at a finite rate, and since a number of structured regions may be developing, a degree of competition will occur. The available currency may also be adjusted by someone like the manager who is outside the assemblage. The manager, for example, when asked to approve or

disapprove certain patterns of behaviour, will be made to determine the supply of currency available in a competitive manner.

(iv) Cooperation, rather than competition, is often advantageous and if the combination of several developing structured regions leads to a more stable structure, cooperation will usually occur.

(v) Apart from developing its own structure, an organic control mechanism determines its relation to the surroundings. It determines an appropriate mode of interaction, for example, it learns the best and not necessarily invariant sensory inputs to accept as being events. Thus, we should expect a non specific sensory input in any organic control mechanism.

I should like to emphasise that organic control mechanisms of this kind are entirely practical, and several exist and are able to affect successful control, whether tutored by somebody like the manager or not, when interacting with quite difficult kinds of simulated industry. In addition, a number of assemblages have been built which satisfy nearly all of these requirements, but which have been refined in different ways to meet particular demands. Professor Von Foerster described an assemblage of «neurones» at the Congress, and discussed its theory. The «neurones» are probably isomorphic with the «elements» and their characteristics in a highly connected assemblage are very similar to those we expect in an organic control mechanism. There is emphasis on the fact that the «neurones» have initially no well defined function. A function is assigned when a self building structured region achieves dynamic equilibrium with the surrounding elements in a assemblage. But this system is made in order to examine various modes of connection of the «neurones», as a result of which the «neurones» must be accepted as basic entities.

Professor Svoboda described a physically different, but related mechanism, which particularly demonstrates a non specific sensory input. It includes a self correcting computer, and self correction will have to occur under circumstances which are, in a very non specific manner, adverse. The machine is able to learn the pattern of behaviour which avoids more or less unspecified adversity.

For my own part I talked about assemblages which I have built to satisfy the requirements noted above, using metallic threads which develop and form a relatively conducting network in relatively non conducting solution. To present an organic control mechanism, which might solve the managerial problem I shall outline

very briefly the system which was examined in the previous paper.

The functionless basic material in the assemblage is a solution of ferrous sulphate. This is contained in a dish, at points in which there are small platinum electrodes. Current is passed between these and ions come out of solution and produce a threadlike structure of metallic iron. The thread develops along the maximum current path. This is determined by the potential at the electrodes and by the disposition of these electrodes. But the conducting metallic thread acts as an extension of the electrode from which it develops. Thus, it modifies the field distribution of current in the dish. As soon as a thread is produced there is a tendency for it to dissolve. The process includes a number of reactions if examined in detail, but for the present purpose it is admissible to think of merely a pair of reactions, one of which builds up a thread on a relatively negative electrode from ions in the solution and is favoured by the passage of a current. But, in order to persist, a thread must be self building to replace the material which is dissolved away and we may conceive a number of dynamic equilibria along the length of the thread, at least as many as there are possible branching points, which are isomorphic with the self building elements in an assemblage.

The current which passes through the solution is the currency. The limited rate at which current may pass is determined by associating with each electrode in the dish a current limiter and specifying that the average current passed by all of the current limiters is of nearly the required value.

This assemblage exhibits the superficial characteristics which are needed and we shall thus examine the more detailed requirements noted above.

i. The process of building a structured region is started off by introducing a control mechanism of the kind proposed by the third cybernetician. As «actions» this control mechanism applies a negative potential to a sub-set of different electrodes. As a result of this current is passed and threads develop.

To act as a catalyst the control mechanism must maximise its interaction in the assemblage. It is not difficult to show that any mechanism which uses this procedure and maximises the amount of current which is passed on the average must necessarily maximise its interaction in the assemblage, so that the control mechanism receives a feedback indicating the amount of current passed

in connection with each action. It maximises the average current passed by tending to visit the least visited electrodes, unless the thread which has developed at a specified electrode allows it to pass an increased current at this point.

Due to the feedback connection the state changes of the control mechanism are increasingly determined by the developing threads which both modify its connections to the assemblage and act as additional storage devices. As functional entity it extends into the assemblage and illustrates the difficulty experienced by the third cybernetician regarding his control mechanism.

2. The development of a thread, although it depends upon the amount of current which is passed via an electrode is equally determined by a sequence of constraints imposed as a result of its previous development and the development of surrounding threads.

The moment to moment development of a thread proceeds via a trial process. Slender branches develop as extensions of the thread in different directions, and most of these, usually all except the one which points along the path of maximum current, are abortive. However, if the field determines an ambiguous path of maximum current, not all of these trial branches will be abortive, for the thread may bifurcate and several new threads may develop. To show the effect of constraints let a thread develop in the simple form A in conditions X. Then introduce ambiguous conditions Y, such that the thread bifurcates. If the conditions are subsequently returned to X the response of the thread to a change in its parameters will be characteristic of a bifurcated form B, not a simple form A.

As another case of constraint assumes the thread $\alpha, \beta, \zeta, \delta$, with α near the original electrode, develops in conditions X, and that these conditions are modified to Y. The middle of the thread β, ζ is removed.

Even for a reasonable disparity between X and Y, a replica thread of $\alpha, \beta, \zeta, \delta$ regenerates in the form it would have assumed with conditions X, even though these have been changed to Y. Regeneration is a process of dissolving material at β and building it up at ζ and the existing constraints are sufficient to ensure that the replica is rebuilt.

3. The threads in the assemblage compete for a limited currency, as a result of which one or the other will become instable and partly or entirely dissolve, occasionally leaving detached portions.

4. Alternatively, constraints which are imposed as a result of

a previous development may produce either an inactive or instable condition. In the case of instability several threads may cooperate and form one structure, which acts as a whole and obtains current for its development from the same set of electrodes.

5. The complete non specificity of the input connections will be shown in two ways. First of all the connections to the electrodes may be shown arbitrary, for whatever arbitrary selection is used, providing it is consistent throughout development, an appropriate functionally equivalent thread structure will develop.

Secondly, let us note the point implicit in Professor Svoboda's paper, namely that real machines are sensitive to a wide variety of physical variables, though the components of most machines are designed to minimise the effect of other than the significant subset of these. A valve, for example, is designed to minimise the effect of vibration which, without this precaution, would be a real but unwanted input. The elements of an organic control mechanism are quite different ; since they are not designed to serve a particular function like a valve. They are sensitive to a wide variety of inputs, for example, to a magnetic field, to changes in the solution, as well as the input which is initially significant, namely a current impulse. We thus enquire whether if the significance of the input changed, for example, if in some manner the organic control mechanism would gain by attending not to current impulses but to magnetic fields, sounds or vibrations, it might develop a sensory structure which transformed these inputs into terms of its own currency, namely into terms of changes in the relative resistance of different regions to the current passing in the assemblage.

Suppose that a very simple assemblage is devised, in which development of the thread structure occurs, and in the region of this developing thread structure place four electrodes. Two of these are associated with buttons u and v , such that if these buttons are pressed current impulse passes into the solution. The other pair of electrodes are associated with effector devices U and V , such that if current flowing in the region of U is greater than current flowing in the region of V , an event U will occur, and if the reverse is the case an event V will occur. Suppose in addition that the events at the input u and v are automatically provided in some sequence of about equal likelihood of occurrence and cause impulses of current to flow into the solution. Due to the thread structure at that instant, the event U and V will be in some way associated with the input events u and v . An outside observer may approve

or disapprove the pattern of behaviour, and we assume him to approve only if even u leads to the event V . When he approves he presses a switch which allows the amount of current passing in the assemblage and used in the development of the thread structure to increase. In this case the thread structure will develop so that V tends to occur when u occurs.

The outside observer is thus approving a pattern of behaviour in terms of current impulses. A thread structure develops which leads the current impulses to behave in a manner which meets with his approval. Suppose other events occur, for example, that a strong magnetic field is applied occasionally across the assemblage, or that a low frequency vibration occurs. We have noted already that these affect the assemblage, but are not significant. On the other hand if the outside observer approves, in exactly the same way, the combination of the magnetic field and the occurrence of V , or low frequency vibration and the occurrence of V , the organic control mechanism, unlike any other control mechanism, will develop a structure of threads such that it becomes sensitive to these variables. The thread structure in the case of the magnetic field, for example, is not very well defined, though functionally it provides for a large change in the resistance of the appropriate current path in the assemblage whenever a change in the magnetic field occurs. In the case of the low frequency vibration or sound characteristic ramifying structure is observable and serves the same purpose. Theoretically there seems no limit to the extension of this process, either in terms of variables which might be sensed, or in terms of the values of these variables which a sensory structure built up in this way might distinguish.

With these characteristics of an organic control mechanism in mind it is possible to describe an assemblage in which an organic control mechanism able to solve the managerial problem may develop. Assume that a finite and sufficient set of states of the industry, called events, are represented to the manager in a display, and that he can adopt one of a finite set of possible actions. When an event occurs current is made to pass through an associated electrode in an assemblage. Current sensitive binary devices are associated with a further sub-set of electrodes in an assemblage, the output of each binary device is associated with one possible action. In the simplest case, the manager is allowed to approve the pattern of behaviour which produces some kind of regulation between a structured region in the assemblage and the industry,

and, if he approves, the current limiters in the assemblage are adjusted so that, on the average, a larger current may pass, which will, on the average favour development of a structure.

In this simple system the process is initiated by associating with the assemblage a control mechanism of the kind already described, which attempts to maximise interaction. This is shown in Diagram 1.

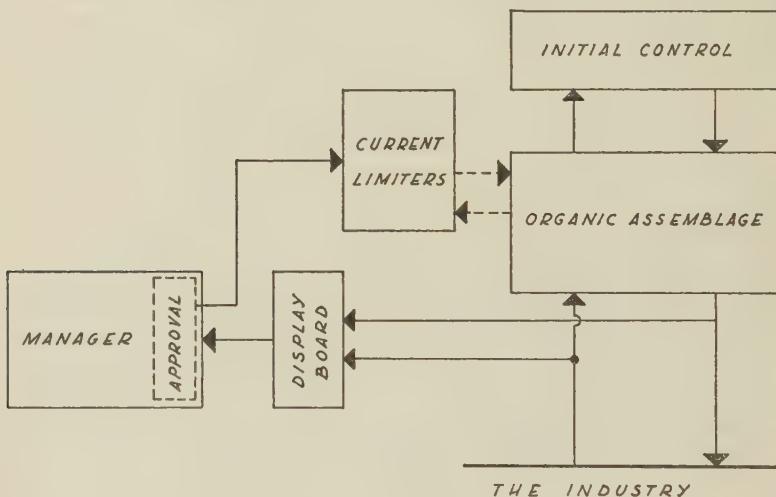


Diagram 1.

However, in Diagram 1 it is impossible to show what we must tacitly assume, namely that the manager learns a method of meeting out approval which achieves his objective, namely a satisfactory organic control mechanism. In particular, he will look at longer or shorter sequences of events as a whole, and approve of these as a whole, the length examined depending upon the instant and upon the conditions at the instant.

An alternative system is shown in Diagram 2. The manager is in the same position as the control mechanism, which initiated the development process by acting as a catalyst. The catalyst might be retained in which case the manager would be in competition with it for dominating the assemblage, but it is not difficult to show that equally well we may regard the manager as replacing this control mechanism with the proviso that he acts as a specific catalyst, with a personally well defined even if inexpressible pattern of behaviour as an objective. Thus, his activities build up structured regions which are in competition with structured regions built up by the assemblage in response to his activities, and the

existence of one structured region limits the current available for the development of the other structured region. Thus, no additional approval device is needed in Diagram 2 since the manager's structured region specifically competes with, and in this sense specifically approves the development of the other structured region.

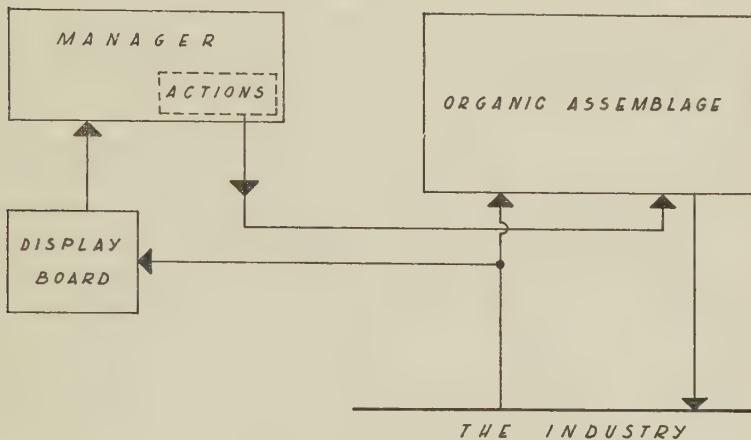


Diagram 2.

In both cases, after an interval, the structured regions will produce a pattern of behaviour which the manager accepts, not necessarily one he would have approved of initially, but one he accepts as a compromise. At this point the structured region will replicate indefinitely so that its replica produces the same pattern of behaviour. The manager may thus be removed and the assemblage will act as an organic control mechanism in the industry.

The characteristics of such an organic control mechanism allow us to remove the conditions of a finite set of inputs and a finite set of outputs, which were imposed for convenience. Thus, both the manager and the organic control mechanism have a limited number of decisions they can make per unit interval, but within this limitation they are equally at liberty to decide about events which were not originally specified.

What has been learned about the manager, and how has it been learned? In terms of conditional probability the alternatives to which the conditional probabilities refer are continually changing. So far as mechanism is concerned it is clearly impossible to say that a particular relation is implied by a particular modification

of a structure since the modification could equally well imply a number of relations, each of which might be implied by a number of structures.

Thus, lacking definite knowledge of its method of working how can we have confidence in the organic control mechanism?

The manager has confidence largely because he has played a partly competitive and partly cooperative game with the device. This experience is quite distinct from having observed it over an interval, since, at any rate in the cases of importance, there will have been occasions when the participants reached compromise solutions in which the manager must have accepted the device as something with which he could argue and agree. So far as an outside observer is concerned he would, in the first place, feel confidence in a manager after weighing up those characteristics we summarise as a personality, rather than by testing for immediate competence. He will trust an organic control mechanism by measure of his belief that it has learned the already acceptable manager's personality so that it will deal with unspecified conditions in a characteristic and acceptable manner.

Whether or not we regard an assemblage as able to adopt the manager's personality is a matter of idiom and our willingness to associate certain attributes with a machine. But, suppose we had agreed, with this reservation, to use the word « personality » for the thing which is « learned » it would be impossible to distinguish between an assemblage able to learn a personality and one able to develop or even to originate a personality. Thus, by analogy with Dr. Ashby's intelligence amplifier, it is at least theoretically possible to develop a higher order manager on the basis of initial constraints which are introduced by a real life man and determining parameters which constrain the subsequent development of an organic control mechanism in an assemblage.

Although an intelligence amplifying process occurs in the assemblages which have been discussed an efficient « method » of applying the determining parameters is required as a first step towards its useful application and this « method » is tantamount to an organic calculus able to describe such an assemblage. The problem of devising it is difficult but, at first sight, tractable. Its solution is important. The creative industries of Professor Boulanger's third industrial revolution clearly need this kind of managerial control mechanism for the inventive possibilities we see, indistinctly, when accepting this concept, are outside the limits of a finite logical machine.

Finally, these managerial comments have a bearing on cybernetics as a whole. The first cybernetician using computation theory and the second cybernetician using his statistical theory, encourage the point of view that cyberneticians flit with abandon from method to method having no real discipline of their own for cybernetics is a saprophyte, some have suggested a parasite of every science. This point of view is naturally expressed whenever a new way of thinking is born and at some point it must be denied.

The first cybernetician and the second cybernetician may legitimately pursue computer methods in the sense that a physiologist adopts a mechanical analogy, when examining muscle action. If the analogy is adopted in order to substantiate a physiological hypothesis, its user is called a physiologist. On the other hand, if he really examines mechanical hypotheses we should call him a mechanic, with an interest in biological material. Applying a similar criterion to the cyberneticians we enquire of them whether they are using an electronic analogy to illustrate and to examine a cybernetic hypothesis, in which case we named them rightly, or whether they are rightly electronic engineers examining their particular kinds of hypotheses about managers.

The name is unimportant. The real issue is not the distinction of people but whether such a distinction is admissible and whether in fact there really is a « cybernetic » hypothesis or a « cybernetic » method. It seems to me that there is, that cybernetics implies a very potent, basic and inclusive kind of enquiry, and intuitively I feel that a cybernetic hypothesis is something which the third and four cyberneticians dig from the outlandish soil of their organic assemblages.

I do not mean that cybernetics is only or even primarily concerned with assemblages which we regard as biological for I have tried to use the word organic with a wider connotation. In particular it seems that there is an isomorphism between the procedure of real cybernetician and the activity of those systems which have been defined as « the organic control mechanism ».

Stafford Beer outlined his idea of a cybernetician's approach to an industry in which the cybernetician has these characteristics. He is open minded and selects his variables as a result of his experience of the system. He obtains his experience, not by mere observation but by interaction and in order to achieve this interaction he builds up, by continual selection of different variables, a common language in terms of which he and the system may interact and form a macrosystem. The cybernetician may behave in a

manner which has no parallel ? At different stages he may examine the macrosystem and conduct a translation process which means that he selects particular attributes of the whole in which he is one particular participant, and translates consistent patterns of behaviour which he discerns in these attributes into terms of some appropriate analogy which may be described in an invariant scientific language, like a mechanical or electronic language.

The important point is that the common language, in terms of which interaction with the system is performed, and in which cybernetic hypotheses appear, is a language of participants. It is continually changing and is unsuitable for expressing logical assertions. When he uses this common language a cybernetician resorts to the method of an interview, for example, the method adopted verbally by a psychiatrist¹. His objective is, in general to achieve a stable macrosystem, aspects of which may be translated and analogised.

The process which the interviewing psychiatrist, or the industrial cybernetician, refers to as « building up a concept » is similar to the process he calls development in an organic control mechanism, thus the calculus which applies to dealings in the common language is the organic calculus which has been discussed. Finally, the cybernetic hypotheses and assertions developed in the common language must be expressed in terms of an analogy which any scientific observer may describe. The translation process is, at any rate at the moment, a mixture of science and an appreciation of what kinds of analogy are useful. A few people, for example Dr. Ashby, seem to possess this rare skill.

In concluding this paper I shall summarise the way in which these ideas, which form a basis for my proposed organic calculus, serve to distinguish cybernetic method from scientific method.

An observer is any person or appropriate mechanism which achieves a well defined relationship with reference to an observed assemblage. Thus, an observer may be a sub-system in an assemblage.

(i) Any observer is limited by a finite rate at which he or it may make decisions. Since the limit exists we shall distinguish a *scientific observer* who minimises interaction with an observed assemblage and a *participant observer* who, in general, tries to

1. Dr. J. Clark, York Clinic Guy's Hospital, is proposing to investigate this matter empirically.

maximise his interaction with an assemblage. If observers were omniscient there would be no distinction.

(ii) A *scientific observer* decides whether or not the evidence of an observation leads him to accept each of a finite set of hypotheses, and may, as a result, determine his next observation. Since he is minimally associated with the assemblage he may determine his next observation precisely.

(iii) A *cybernetician* is a participant, observer who decides upon a move which will modify the assemblage and, in general, will favour his interaction with it. But, in order to achieve interaction he must be able to infer similarity with the assemblage. In the same way cybernetic control mechanisms must be similar to the controlled assemblage. The development of this similarity is the development of a common language, which in a calculus we relate to the structure that has been discussed.

(iv) A common language may be thought of as having been selected from a set of possible languages in terms of which interaction might take place. Each of these is characterised by a set of relevant enquiries which an observer may make about an assemblage.

(v) The limitation of (i) as above appears to the scientific observer as an uncertainty associated with each observation; but to a cybernetician since he is a participant observer, it appears as a need to build up a common language, i. e. to adopt new languages, in order to interact with an assemblage. From (iv) the limitation of (i) appears as an ignorance on the observer's part, about the kind of enquiry which he should make.

(vi) A common language is a dynamic idea, and once built up must be used. Thus, if a conversation is disturbed it must be restarted, and one of the structured regions we have discussed must continually rebuild itself.

(vii) A scientific observer seeks to confirm as many hypotheses as possible.

(viii) A cybernetician tries, by interaction, to bring about a state of a macrosystem which exhibits a consistent pattern of behaviour that may be represented by a logically tractable analogy.

La connaissance objective

Essai de caractérisation par la méthode des modèles¹

par Jacques SAUVAN,
Docteur en Médecine (Antibes)

La cybernétique voit le développement de sa branche logique atteindre un stade tel qu'il lui est nécessaire de disposer de définitions objectives, non anthropomorphiques, des facteurs se rapportant à la mentalité. La machine que je présenterai au second Congrès de Cybernétique² et les machines plus complexes qui lui feront suite soulèvent déjà de nombreux problèmes de cet ordre. Je montrerai d'ailleurs que, contrairement à ce qui est l'habitude dans les acquisitions technologiques, il est indispensable de développer parallèlement à ces machines une métacybernétique excessivement rigoureuse qui les place dans une hiérarchie.

LA NOTION INTUITIVE DE CONNAISSANCE

Pour l'instant mon propos est de connaître la connaissance, ce qui fort curieusement oblige à mettre en œuvre l'objet de la recherche avant même d'en avoir établi le mode d'utilisation, la légitimité et même l'existence. On part donc d'une situation : la notion intuitive de connaissance, et il faut faire œuvrer cette notion à son propre affinement avec tous les retours en arrière que cela implique ; en apparence la situation n'est pas neuve, mais dans tous les processus de recherche scientifique, la situation de départ et celle d'arrivée sont liées par un facteur hétérogène, qui est justement la connaissance ; ici il n'y a pas de tierce intervention.

1. Idées exposées au cours du Symposium « *Cybernétique et Connaissance* » Zurich 1956-57.

2. Manuscrit remis en juin 1958.

Il est évident qu'il ne s'agit pas ici d'épistémologie de la connaissance. Le problème éternellement renouvelé de sa véracité est hors de mon propos.

Intuitivement la connaissance est fait strictement humain. Ce qui est envisagé ici est de savoir dans quelle mesure la méthode des modèles peut cerner cette notion, en extraire une définition généralisée, commune à l'homme et à d'autres sujets. Cette recherche est-elle légitime ? On peut arguer en effet que la connaissance ne se définit que par l'homme et que, par définition, elle n'existe pas hors de lui. On pourrait s'incliner devant la légitimité d'une telle position, en se contentant d'adopter pour son compte une perspective plus constructive. Cependant, en y regardant de près, cette définition n'est-elle pas peu ou prou une axiomatisation, et il est une démarche inséparable de l'axiomatisation, c'est la démonstration du théorème d'existence (à la limite théorème de non-contradiction). Cela veut dire qu'en trouvant un tel biais pour refuser une étude objective de la connaissance, on ouvre une discussion c'est-à-dire un discours d'où le subjectif doit être banni. Le sujet en est : y a-t-il chez l'homme une propriété de la pensée dont on ne puisse établir un modèle ?

LES DEUX TYPES DE CONNAISSANCE HUMAINE

Premier groupe. — Il y a cette connaissance que nous communiquons aux autres, c'est celle que nous transmettons par message. Il y a aussi cette connaissance que nous reconnaissons comme telle grâce à des informations sémantiques, c'est celle qu'ont les autres hommes. Il est légitime de les grouper sous le nom de connaissance objective ou objectivable (cette dernière étant celle que nous pourrions transmettre ou détecter). La notion de connaissance objectivable (dans le sens de non objectivée) est de première importance dans la discussion de l'élaboration de la connaissance, puisqu'elle en est un facteur apparemment caché. Il faudra d'ailleurs discuter jusqu'à quel point on peut admettre l'existence d'une connaissance non objectivable, puisque son existence ne peut être soupçonnée que par son action sur la connaissance extériorisée. Quelles sont en somme les limites exactes du behaviourisme ?

Second groupe. — Il y a aussi cette connaissance que nous estimons incommunicable, connaissance purement subjective, personnelle, mais que nous accordons volontiers aux autres hommes, par analogie et selon leur témoignage (« la splendeur de ce spectacle est indicible », ce qui est d'ailleurs une objectivation).

Dans cette étude, il ne s'agit que de connaissance objective, mais nous sommes obligés d'en explorer les frontières. Le problème de l'autre connaissance n'est qu'en attente. Il faut cependant remarquer que :

a. — L'existence d'une connaissance subjective, quelle qu'en soit la nature, influence la connaissance objective, c'est une façon comme une autre de s'objectiver. Que de phénomènes matériels ne sont connus que de cette façon. Elle a donc un aspect objectivable. De son côté, la connaissance objective ne peut être appréhendée par un autre sujet sans une frange d'indétermination (cf. infra) ; elle a donc un aspect subjectif. Y a-t-il une délimitation exacte entre les deux ?

b. — Dans l'hypothèse où la fonction de mémoire (et les fonctions dérivées) serait liée à un substrat matériel discontinu, des considérations simples sur la sémantique de l'information montrent qu'il faut que les référentiels soient identiques pour que la sémantique reste inchangée (la signification vraie d'un message est tout ce que par sa présence il refoule dans l'inexistant des possibles que le référentiel (le dictionnaire) comportait). Chaque individu disposant d'un référentiel obligatoirement original, il subsiste une frange d'incertitude. Le problème devient donc celui-ci : la connaissance subjective n'est-elle que cette frange d'incertitude, cette différence entre les images particulières que les sujets de connaissance ont de l'objet commun de celle-ci : l'univers ? Même le langage scientifique ne peut échapper à cette incertitude. Par exemple, si les sujets sont un élève de classe inférieure, moi-même et un professeur de géométrie supérieure, le mot triangle comportera une frange d'incertitude de deux origines : la définition même en sera d'abord appréhendée différemment en raison de l'extension croissante de la signification de chacun de ses termes, en second lieu, la signification même du concept de triangle aura une ampleur bien différente selon les sujets.

L'hypothèse d'une fonction de mémoire liée au contraire au continu rend en grande partie inapplicables ces réflexions. Il est d'ailleurs légitime d'adopter cette seconde hypothèse si l'on a l'intuition de la non-validité des résultats auxquels la première conduit. Si j'ai adopté l'hypothèse discontinue, c'est qu'elle est la plus accessible et la plus fructueuse pour moi. Elle m'a permis de développer une théorie des simulateurs de fonctions cérébrales conscientes.

LA CONNAISSANCE, PHÉNOMÈNE DYNAMIQUE

Cette connaissance humaine connue intuitivement me paraît présenter un caractère impérieux : c'est avant tout quelque chose d'ouvert, de dynamique, d'évolutif, quelque chose qui ne se conçoit qu'en remaniement constant. Arrêtez, ne serait-ce qu'un coma, la flèche qui vole et ce n'est plus qu'une tige de bois. Interrompez le foisonnement de la connaissance, et cela devient des connaissances. Au Symposium de Zürich 1957, le docteur Bonsack pour schématiser cette notion de « des connaissances » l'avait assimilée à des renseignements inscrits sur des cartes perforées. Cela veut dire qu'une solution trouvée, qu'un problème résolu, une constante déterminée, qu'ils soient mémorisés ou fassent l'objet d'une information, peuvent être assimilés à cette inscription sur carte. Mais j'insiste sur le fait que « les connaissances » sont une partie amputée de la connaissance, elles sont de la connaissance figée, paralysée, défigurée ; ce sont des résultats ; la connaissance, elle, est une démarche. Relativement à leur contexte, ces connaissances peuvent être tenues pour vraies ou fausses ; la connaissance *n'est pas engagée par ses propres conclusions* toujours provisoires, on sait qu'elle évoluera, elle est de l'erreur en train de se réduire.

Nous rencontrons ici le problème de la connaissance et de la culture du mythe. Notre humanisme exige une séparation absolue entre ces deux opérations, pourtant si proches par leur mécanisme. Le sujet porteur d'un mythe, insensible à l'erreur possible, ne songe qu'à l'étendre, à lui assurer une domination sans appel. La connaissance, elle, exige la confrontation constante au réel (à défaut du vrai) ; l'erreur, dont l'existence est la seule chose dont elle soit sûre, est son souci constant et seul le monde extérieur peut lui fournir les critères nécessaires à son élimination. Le retour constant vers le réel est une démarche majeure de la connaissance.

Ceci explique que dans mon énumération ultérieure de ses facteurs, à un certain moment, j'ai l'air de faire apparaître de la connaissance *ex nihilo* ; en réalité il faut y inclure tout ce qu'il y avait avant et surtout tout ce qu'il y aura après. Il n'y a pas de temps origine de la connaissance, ou plutôt l'instant initial n'est pas suivi de l'élaboration immédiate de connaissance, celle-ci émerge peu à peu du jeu de ses diverses fonctions. Celles-ci sont groupées en une chaîne fermée, chaîne passant obligatoirement par l'environnement. Ce passage constitue la référence à la réalité, la mise à l'épreuve de la connaissance par le réel, temps décisif de son élaboration.

MÉTHODE D'ÉTUDE

Considérant l'homme comme objet d'observation, je vais donner une énumération à tendance exhaustive des démarches qui paraissent nécessaires lorsqu'il élabore de la connaissance. Je tenterai ensuite, considérant chacune de ces démarches en soi, de définir d'autres sujets susceptibles de les engendrer. Il ne sera envisagé ici que l'essentiel, que le schéma de principe de chaque démarche, de chaque facteur de connaissance. Il ne s'agit pas d'une reconstitution détaillée ; j'envisage ce que chaque facteur, ce que chaque fonction présente de spécifique, en essayant de la réduire à l'extrême sans trahir l'idée que l'on peut s'en faire. De la combinaison de ces fonctions squelettiques me paraît émerger un schéma suffisamment caractéristique de la connaissance. Accessoirement, cette méthode illustre le fait que l'homme ne pense que par la méthode des modèles.

ÉTUDE DES FACTEURS DE CONNAISSANCE

1. — *Réception des messages de l'environnement.*

Quelles que soient les discussions soulevées à propos des organes des sens, il ne me paraît pas que l'on puisse craindre l'erreur ici en les identifiant à des capteurs. A ce propos constatons que toute notre connaissance scientifique est fondée sur le contact univers-capteur suivi du contact capteur-organe des sens. Un des rôles principaux du capteur est d'extraire de l'environnement une catégorie de messages en la séparant de toutes les autres catégories qui s'y rencontrent simultanément. Un autre rôle du capteur est de donner de l'environnement un reflet discontinu qui est codé en un message granulaire. C'est cette trahison initiale qui fait que les êtres ne se déplacent pas dans un magma uniforme défiant l'analyse, mais peuvent distinguer, caractériser, abstraire. Cette vertu est une des raisons d'adopter l'hypothèse d'une mémoire discontinue.

2. — *Mémorisation.*

Le seul modèle de mémoire qui me paraisse constructif paraît être discontinu et analytique (sans que cela intervienne dans le choix d'une psychologie globale ou non qui œuvreraient alors à un autre niveau). Cette conception autorise seule la souplesse des manipulations ultérieures des messages reçus. S'agit-il d'une mémoire par trace ou par structure élaborée ? L'une ou l'autre peut s'admettre. Le tout est que la mémorisation reste aussi analytique

que la réception, car dans mon hypothèse chaque mémorisation élémentaire reste insécable au cours des manipulations qu'elle subira, et il est impossible d'en extraire une information supplémentaire.

Je crois cependant qu'en dernière analyse il faut qu'il y ait une trace inscrite. Dire qu'en biologie la mémoire est une structuration temporaire d'un réseau articulé au niveau de synapses ne fait que reculer le problème sans faire progresser la connaissance que nous en avons. Comment en effet seraient commandés ces divers aiguillages synaptiques caractéristiques d'un certain souvenir ? Puisque chaque réseau est susceptible de rendre compte d'une série de souvenirs, il faut qu'il soit contrôlé par des programmes d'aiguillages. Chaque programme serait lui la mémoire, et il se ramène à une trace. Il faut bien se rendre compte que le substrat de la mémoire peut être n'importe quoi pourvu que ce n'importe quoi constitue un ensemble en correspondance bi-univoque avec le message reçu. Il est donc légitime de dire que la mémorisation est un passage à l'abstrait.

Distinguons deux types de souvenirs. J'emploie ici ce mot volontairement imprécis pour permettre la distinction qui suit :

- les souvenirs par construction (technologie du modèle, programmes mis en place par le constructeur) ;
- les souvenirs par acquisition.

Seuls les seconds me paraissent se rapporter à la mémoire, et encore sous certaines restrictions.

A. — Les souvenirs par construction. Il s'agit de l'arbre à came, des dents d'une roue, de la forme de l'articulation de deux pièces osseuses. On est évidemment très tenté d'appeler cela par analogie « mémoire d'espèce » puisque certaines pièces identiques peuvent exister, soit de construction (cartons perforés programmes) soit par création de perforation en cours du fonctionnement (calculatrices). Dans la perspective adoptée ici, de tels rapprochements (rapprochement de pièces identiques, c'est plus que de l'analogie) sont à rejeter formellement : ce qui importe n'est ni la forme ni la fonction mais la logique qui a présidé à l'élaboration de la forme. Or il s'agit ici de deux logiques différentes.

B. — Les souvenirs par acquisition : seuls peuvent être appelés mémorisés (ou *mêmes*), les souvenirs qui auront laissé une trace dans la machine à la suite du fonctionnement normal, préétabli du circuit de mémorisation. Le reste ne sera que déformation, rupture ou cicatrice. On se souviendra de la lueur d'une fusée,

mais la brûlure de la rétine par l'éclat d'une bombe A n'est pas une mémorisation. Le bosselage d'une machine d'un coup de marteau, même s'il en modifie le fonctionnement, n'est pas une mémorisation. Ceci n'est évidemment qu'une hypothèse à tendance constructive car nous ne savons pas comment les êtres vivants mémorisent, mais on peut penser que « tout pourrait se passer de cette façon ». D'autre part la limite exacte entre la mémorisation et la déformation est difficile à préciser. La première doit évidemment respecter les éléments technologiques de base, si elle est susceptible quelquefois de modifier cette technologie. Mais pour une machine il y a usure, pour un être vivant il y a des modifications physico-chimiques dont certaines sont irréversibles, il y a donc aussi déformation, mais il s'agit là d'une discussion de frontières qui me paraît prématurée.

Il faut aussi connaître la possibilité de modifications de technologie par facteur interne, c'est-à-dire que tout fait nouveau mémorisé modifie le système qui vient de l'incorporer, cela tant par sa valeur sémantique que par l'action physique subie par le support de la sémantique, action physique qui ne peut être indifférente à l'ensemble de la structure physique du système. Tout cela reste dans le cadre normal qu'on pourrait assigner à la fonction de mémorisation.

Pour mémoire notons l'existence (récente) de simulateurs de programme. Je présenterai au cours du second Congrès de Cybernétique un appareil qui a un comportement apparemment programmé d'une façon complexe. Or cet appareil ne comporte ni programme incorporé ni mémoire. Il modifie de lui-même son fonctionnement. Celui-ci est en relation avec les lois qui régissent l'environnement. Il ne s'agit donc ni de mémoire (évidemment), ni de technologie, puisqu'un appareil vraiment programmé ou bien respecte son programme si l'environnement le lui permet, ou bien ne fait rien. Ici, quelles que soient les lois de l'environnement, un fonctionnement s'établit, chaque fois différent, mais respectant des références internes. Je signale donc un système qui n'a que l'apparence d'un système à programme ; il semble que dans la nature, ce genre de système soit fréquent. Il comporte une structure métastable mettant en jeu divers états stationnaires.

3. — Manipulation des informations mémorisées (mêmes).

Dans mon hypothèse descriptive, les opérations ont été jusqu'à présent passives et surtout en contact direct avec le réel. A cet instant qui suit la mémorisation le contact est coupé, l'élabo-

ration de la connaissance va se faire sur les mêmes pris en tant qu'objet (ou état) matériel. Cette élaboration est une manipulation physique d'éléments concrets supportant une signification, c'est-à-dire ayant réalisé une abstraction. Je ne saurais mieux comparer qu'au calcul sur un boulier. Une boule est affectée d'une signification, un sac de blé, elle est l'instrument d'une abstraction. Elle est ensuite manipulée physiquement en tant que boule¹, on la déplace uniquement en tant qu'objet physique jouissant d'un degré de liberté sur une tige ; à ce moment elle a réellement perdu tout rapport avec les sacs de blé. Les manipulations finies, elle récupère (pourquoi ?) une signification abstraite qui n'est quelquefois pas la même que la première. L'étonnant est que le comportement physique de cette boule soit comparable d'un certain point de vue à celui d'un sac de blé. Dès la naissance du boulier, nous assistons donc :

- a) à une promotion sémantique, suivie
- b) d'une dégradation sémantique, suivie
- c) d'une seconde promotion quelquefois différente.

Évidemment, dans cet exemple, on peut ne pas perdre de vue la signification exacte assumée par la boule. Compliquons très légèrement : je suis devant un terrain rectangulaire de $5\text{ m} \times 4\text{ m}$. Je multiplie 5 m par 4 (qui n'est plus des mètres). Qu'est ce nombre 20 que j'obtiens ? Des m^2 peut-être, ou la longueur totale de 4 champs placés bout à bout et il ne s'agit plus que de mètres linéaires ; nous verrons plus loin ce qu'il en faut penser. Admettons déjà que des éléments concrets, vecteurs d'abstraction, vont, *en étant fidèles aux lois physiques qui les régissent*, rendre compte du destin physique d'objets avec lesquels ils sont en correspondance bi-univoque.

Si la mémoire est granulaire et analytique, c'est-à-dire si chaque fait reste mémorisé selon le schéma analytique qui a présidé à sa réception, chacun des éléments qui constituent ce même global peut être isolé et orienté vers un destin particulier. S'il y a des carrés rouges, des triangles jaunes et des cercles bleus, une manipulation simple permet de conjuguer carré et bleu, triangle et rouge, cercle et jaune. L'invention, l'imagination et même l'éthique comme je l'ai montré ailleurs² sont en puissance dans ces opérations simples.

1. La preuve en est que l'on ne peut y substituer des morceaux de sucre qu'on recueillerait dans un récipient rempli d'eau.

2. Congrès de Philosophie des Sciences, Zurich 1954, Section Cybernétique.

Ces manipulations vont nécessiter des « opérateurs ». J'appelle opérateurs, des facteurs abstraits de manipulation destinés à transformer les mêmes ou les résultats de manipulations préalables. Ils peuvent soit exister de construction soit apparaître au cours de fonctionnement. Ils assument deux fonctions, soit la fonction de transfert, soit la fonction de calcul.

Exemples d'opérateurs de transfert : ordre de comparaison de deux mémorisations — ordre d'utilisation d'un opérateur de calcul (adjoindre à un même un opérateur de calcul, c'est le transférer vers ou dans une perspective nouvelle : voir infra, utilisation des résultats).

Exemples d'opérateurs de calcul : recherche des perforations communes à un lot de cartes perforées (élaboration d'une abstraction) — sélection des cartes perforées ayant une perforation commune (création de la notion de classe) — recherche d'autres perforations communes à toutes les cartes ou à certains groupes de cartes dans le groupe précédent, etc...

Dans ces diverses manipulations il faut distinguer :

- le choix de l'opérateur ;
- l'application de cet opérateur à certains mêmes ;
- l'utilisation des résultats. ;

A. — *Choix de l'opérateur.*

Il peut soit être imposé par programme, soit pour réaliser un modèle de connaissance humaine, avoir l'apparence d'un choix libre. Dans ce dernier cas, il est préférable de substituer le terme d'indépendance à celui de liberté. L'homéostat et des appareils d'un rang supérieur délivrent des choix indépendants ; ils le sont cependant d'une façon excessive, ne tenant pas compte des expériences passées, c'est ce qu'on peut nommer de la licence. Il faut limiter celle-ci, seconde raison de promouvoir un contrôle par le réel. Ainsi, peu à peu, l'analyse et la manipulation d'expériences antérieures favorables ou défavorables (cf. infra le coefficient de satisfaction) limiteront le champ de cette licence. Ces expériences suscitent des règles de conduite qui sont en réalité de nouveaux opérateurs. Nous arrivons à la distinction capitale entre les machines et même entre les systèmes : il y a des machines ouvertes et des machines fermées (à technologie ouverte ou fermée). Seront ouvertes, les machines auxquelles leur expérience fournira de nouveaux opérateurs. Par exemple un magnétophone, quelle que soit la durée de son enregistrement, est une machine fermée. Au con-

traire un magnétophone qui modifierait sa courbe de réponse en fonction de règles extraites de ce qu'il a déjà enregistré, serait une machine ouverte. Est ouverte une machine qui se crée de nouveaux opérateurs. Ceux-ci, par leur application, sont liés eux-mêmes à des expériences favorables ou défavorables, génératrices d'opérateur d'un rang supérieur, par exemple opérateur de choix d'opérateurs. Il n'y a plus de limites objectera-t-on. Mais si, c'est le réel qui les donne, les possibilités propres du système. Théoriquement il n'y a pas de limite à la réflexion d'un joueur d'échecs. Mais retouchons terre. Jusqu'à quelle intention ce joueur peut-il aller ? Les limites matérielles d'un système en fixent les possibilités théoriques.

B. — *Utilisation de l'opérateur.*

C'est l'opération de calcul bien définie par le Père Russo. On appellera calcul, l'obtention d'un résultat par l'application d'un opérateur à des mêmes. Cela va du calcul banal aux opérations de logique avec lesquelles la notation binaire nous a familiarisés.

C. — *Utilisation des résultats.*

C'est ce que le Père Russo a très bien isolé sous le nom de transfert des résultats. L'idée personnelle que j'en ai est que ce transfert vers un autre opérateur (ou vice-versa évidemment) est secondaire en tant qu'opération physique. Mais cette opération est le support d'une opération abstraite excessivement importante. C'est la promotion sémantique qui suit la dégradation sémantique exigée par la mise en forme du calcul. Du fait que l'on incorpore un résultat à un nouveau calcul, on l'oriente, on l'ampute de toutes ses possibilités sauf une, et en même temps on féconde ce résultat car un calcul n'est pas une simple tautologie. Reprenons l'exemple de la multiplication de 5 m. par 4 (ce 4 qui ne signifie plus des mètres); le résultat 20 n'a pas en soi de signification. Lorsque j'ajoute qu'il s'agit de mètres de fil ou de m^2 , j'utilise inconsciemment une opération sémantique innominée, parallèle au calcul et qui permet une requalification du résultat. C'est cette requalification qui permet la poursuite des manipulations. Je ne puis imaginer actuellement cette opération que pragmatique, empirique, résultant de la concordance de nombreuses expériences, c'est une troisième raison de se référer au réel. Sa justification théorique, quand elle est possible, n'intervient qu'ensuite.

Après plusieurs utilisations partielles successives, on en arrive à un résultat global qui est la connaissance (composée de mêmes, d'opérateurs divers, d'imagination, d'abstraction, etc....). Saluons la au passage, elle ne peut s'arrêter sous peine de se dégrader en « des connaissances ». Cette connaissance va amorcer un retour vers l'environnement, vers le réel, elle va se manifester par des ordres moteurs, c'est l'articulation de la connaissance et de l'action concrète (Père Russo). Cette action consiste en comportement ou en message.

A ce point précis, une divergence profonde se manifeste, elle a été très nette au Colloque de Zürich. Pour certains, ces ordres moteurs sont potentiels et il existe une fonction tout à fait spéciale (objectivant probablement la notion de liberté) qui intervient alors, c'est la fonction de décision. Elle permet ou non l'action. Pour d'autres, cette décision émerge simplement des diverses manipulations, c'est un des aspects du résultat. Elle peut n'être pas la dernière sur la chaîne interne (ceci sera fait si...).

L'utilisation des résultats comprend aussi la comparaison de l'environnement modifié par l'action avec les modèles mnémiques créés pour atteindre le coefficient de satisfaction (triangle rouge évoqué plus haut par ex.). Cette comparaison est un facteur capital de connaissance.

RÉACTION DE LA CONNAISSANCE SUR L'ENVIRONNEMENT

Il s'agit de l'action : action énergétique et action sémantique.

A. — *L'action énergétique.* C'est la modification active des rapports sujet-environnement. Cette action a toujours comme résultat la modification des réceptions que le sujet a de l'environnement. Ces modifications ont comme facteurs :

- le remodelage du milieu par le sujet ;
- la mobilisation du sujet.

C'est à ce stade que peut s'objectiver la « conscience d'exister » du sujet. Je l'appellerai « individualisation » pour les mêmes raisons qui m'ont fait adopter le terme d'indépendance. Cette promotion à l'individu est un fait très important. Sans elle on peut toujours ajouter d'autres organes à une machine aussi complexe soit-elle (la machine qui la fabrique, celle qui la nourrit, celle qui fabrique sa nourriture, etc...) ; tout cela formera à chaque stade un ensemble ni plus ni moins légitimement lié que la machine initiale. J'appellerai

individualisé (cf. addendum) tout système qui se crée des opérateurs susceptibles de susciter une liaison nouvelle entre ses effecteurs, cette liaison déterminant une action qui a les caractères d'une synergie finalisée, par exemple vers la recherche d'un référendum ou la lutte contre une agression. Quel que soit le sujet observé, ce type d'action est facilement décelé. S'il s'agit d'une machine, il ne peut y avoir de doute (encore qu'il y ait quelques réserves à faire sur la compréhension de certaines machines complexes); s'il s'agit d'un être vivant, nous pouvons simplement dire une fois de plus que cela pourrait se passer comme cela, sans avoir le droit de rien affirmer dans l'acceptation comme dans le refus de cette hypothèse sur l'individualisation.

B. — *L'action sémantique.* Ici trouvent place toutes les considérations énumérées dans le travail collectif de la salle 9 c au Congrès de Philosophie des Sciences de Zürich 1954. Il s'agit des codes, des référentiels, des dictionnaires, de la syntaxe. C'est à ce niveau que s'embranchent les considérations sur les problèmes de la communication, du stockage de la connaissance qui devient alors « des connaissances ».

LE COEFFICIENT DE SATISFACTION

Voici donc un environnement modifié par le sujet de connaissance, ce nouvel environnement va susciter un nouveau comportement et le cycle continue.

Mais il est nécessaire qu'il y ait une conséquence, une raison à cette action. Sinon les manipulations internes seraient gratuites, sans référence à la réalité, « hors du siècle ». Il faut donc que le résultat, c'est-à-dire la nouvelle réception satisfasse (tende à satisfaire) le sujet. C'est pour cela que j'ai imaginé une référence interne (d'ailleurs variable dans certains systèmes). Pour les machines je l'ai nommée coefficient d'activité interne. Selon ma conception le but est, même chez les êtres vivants, une abstraction pure, la nécessité d'un niveau d'équilibre, plus particulièrement un certain niveau d'activité neuronique (ou de messages internes). Cela peut se traduire chez le lézard par un certain niveau de réceptions (équilibre des messages de chaleur, de faim, etc...). Chez l'homme ce serait une certaine activité globale cérébrale où sont en jeu les opérateurs, les abstractions, l'éthique, les réceptions, etc... tous facteurs strictement articulables puisque ayant un même type de support physique, support soumis à des lois physiques qui entraînent la combinaison d'abstractions disparates coupées de l'exté-

rieur au moment des manipulations. Il paraît facile de comprendre de cette façon qu'un homme « se jette au feu pour un idéal. »

Le niveau de cette activité de messages internes peut être plus ou moins élevé, c'est pour cela que l'on peut parler de coefficient. Ce niveau serait le but supérieur. On a déclaré à ce sujet :

1. — Qu'une machine ne pouvait avoir qu'un but supérieur. La machine dont j'ai parlé en a plusieurs.

2. — Que l'homme, lui, avait plusieurs buts supérieurs, ce qui est au moins un peu léger, car on ignore complètement ce dont il peut s'agir chez l'homme. Tout ce que l'on peut dire, reprenant pour la 3^e fois une formule mécaniste, c'est que cela pourrait bien se passer ainsi. Même par introspection on n'a qu'une connaissance « extérieure » des impératifs de la pensée. Cocteau dit que lorsqu'il crée, il est impérieusement poussé par des forces obscures qu'il ne connaît pas. Ces buts, même les plus dépouillés, que nous reconnaissons en nous ne sont que des buts secondaires destinés à réaliser une satisfaction supérieure que nous sommes incapables d'exprimer, de concevoir, de percevoir même. Au point que rien ne nous permet d'affirmer qu'il y a en nous plusieurs buts supérieurs susceptibles de se relayer. La nécessité d'un équilibre peut entraîner la construction d'un modèle interne (selon la terminologie d'A. David une licorne, une sirène, un centaure, Protée, etc...) qui ne serait lui qu'un des buts secondaires laissant le sujet de connaissance aussi loin de la claire notion de ses aspirations profondes qu'il l'est du monde vrai quand il n'est sensible qu'au monde réel.

C'est la comparaison de la réception à ce but secondaire qui est un facteur de connaissance et un facteur de limitation du champ de licence.

On ne peut dire qu'il y ait une connaissance vraie ou une connaissance fausse, mais on peut affirmer que la connaissance qui est phénomène strictement individuel, tend à la vérité, que son mécanisme propre de confrontation au réel lui en fait une obligation.

La connaissance peut donc être tenue pour un phénomène dynamique évolutif qui est le fait d'un système à technologie ouverte : le sujet de connaissance.

Ce phénomène comprend :

- une réception de l'environnement ;
- une mémorisation probablement analytique ;
- des manipulations de représentations abstraites comprenant : calcul, transfert, référence à un but secondaire, tendance à la satisfaction d'un but supérieur, individualisation ;

- une action énergétique ou sémantique ;
- une nouvelle réception fermant la boucle.

ADDENDUM : L'INDIVIDUALISATION

Ce paraît être le retrait d'un sujet qui prend ses distances par rapport à l'environnement. D'une façon plus précise un tel sujet, ou bien défend contre les agressions de l'environnement toutes les parties qui le composent, « toute sa guenille », simultanément et globalement, ou bien il les utilise en synergie pour agir sur l'environnement. Mais il existe beaucoup de mécanismes technologiquement corrélés. Pour qu'il y ait individualisation il faut que cette corrélation résulte de l'application d'opérateurs nouveaux issus des expériences du système. Comment une telle acquisition peut-elle se concevoir ?

Un système peut distinguer dans son environnement deux classes d'objets (ou de réceptions) grâce à des abstractions successives issues de vetos qui accompagnent les actes défavorables, grâce également à l'analyse des actes favorables à l'obtention de son équilibre :

- la classe des réceptions dont les variations n'ont pas de corrélation directe avec les résultats des manipulations. Elle correspond à l'environnement.
- la classe des réceptions qui sont en corrélation directe, absolue, avec certains résultats de manipulations : ce sont les effecteurs du sujet, son « corps perçu ».

Les corrélations indirectes servent à abstraire des règles d'action sur l'environnement.

En somme, l'observateur d'une machine sait à quoi correspondent les effecteurs qu'elle peut avoir ; si la technologie est immuable c'est qu'il s'agit d'un système fermé incapable de connaissance et d'individualisation. S'il voit naître au contraire un comportement global, il s'agit d'un système ouvert susceptible d'individualisation. Une telle conception écarte de l'accession à l'individualisation (à la conscience d'exister) ceux des animaux qui n'ont qu'un comportement instinctif, alors qu'ils ont justement l'apparence d'une très forte individualisation. Mais en réalité il s'agit de systèmes biologiques étroitement corrélés à l'environnement, systèmes dont on peut dire qu'ils n'ont aucune *homéostasie de comportement*, ils ne sont pas distincts de leur milieu.

L'individualisation est le correspondant objectif de la conscience d'exister comme l'indépendance correspond à la liberté et la mentalité au caractère.

Enfin, je n'aborderai pas ici la question de la connaissance de la connaissance, pas plus que celle de la connaissance d'être individualisé. Cela n'est pas nécessaire au but fixé. On pourrait se demander s'il s'agit d'une fonction nouvelle d'un rang supérieur ; c'est peu probable, il est possible que cela se réduise à la connaissance d'un schéma d'un certain état de connaissance, c'est-à-dire à un schéma fondé sur «des connaissances». Il s'agit de manipulations d'un type absolument original qui exigent peut-être une logique nouvelle.

Neuronal Automata

by R. TARJAN,

(Budapest)

I

Since the advent of the electronic digital computers, there has been much discussion at various levels (1), (2), (3), about the possibilities of constructing machines, with more or less animal-like behaviour, or even machines that think. In these discussions emphasis was laid mostly on the positive sides of the many possible analogies between the brain and digital computers, the differences being much too obvious for our present-day machines. The arguments may be summarized briefly as follows.

First, the neurons, the basic switching organs of the Central Nervous System (CNS) are essentially, i. e. as far as the transmitting of information is concerned, all-or-none devices, as are the static or dynamic flip-flops used in digital computers, the main function of both devices being the switching of electrical impulses.

Second, switches may be used to implement elementary logical operations. On the other hand, according to a well known theorem of mathematical logic, any finite complex logical expression of the calculus of propositions can be reduced to a sequence of the elementary logical operations «and», «or» and «not», performed on the logical variables. In fact, we may set up the following definition : *A logical machine is a device which performs on one or more input-quantities (states or events) a finite sequence of operations; as a result it produces an output, which may be interpreted as the result of a finite sequence of logical operations performed on the (logical) input-variables.* (For the limits of this definition cf. sec. 3). Logical operations, however, are doubtless acts of thinking. The Ferranti Logical Machine (4) is a well known example of machines of this kind. A more simple version of a machine of this kind is presently being built by L. Kalmar (personal communication).

Finally, digital computers are equipped with a «memory», in which past information may be stored and, if necessary, modified by new ones. The behaviour of a digital computer, when suitably programmed, is in every moment determined by *two* factors: first by *present stimuli*, derived in a suitable way from the environment (e. g. the digitalized readings of instruments) and second, by *stored information*, clearly equivalent with previous experience. So, digital computers can be — at least in principle — in a sense *trained*, as shown by A. E. Oettinger (5). In contrast to digital computers, the usual servomechanisms, utilizing negative feedback, though they can adapt themselves within reasonable limits to changes of environments, their behaviour depends notwithstanding, owing to lack of memory, solely on the *present stimuli*. So, they can produce *unconditional* (*i. e. wired-in*) reflexes like insects, but not *conditional reflexes* (*i. e. learning*), — the necessary condition for these being, as shown for instance by W. Grey Walter (6), the existence of a memory of some kind.

The situation is, however, not quite so simple. The main thesis, of what follows, is that *our present-day digital computers principally cannot think*. The reason of this is the very nature of their basic switching organs. They are even logical machines in a rather restricted sense. They can more or less closely imitate the behaviour of an animal — and only that. To build machines which not only imitate the behaviour of an animal, but do behave intrinsically as such, we have to change both the basis switching organs and the design principles of our computers radically.

2

To construct an automaton, the engineer has to be supplied with an exact, detailed description of the operations which his automaton is expected to perform. With other words, *an algorithm of the operations must be given*. Only in the possession of this he can start with the usual design-procedure, *i. e.* draw the block-diagram, select the component-parts and so on.

In the case of a «thinking» machine, this would imply at least an exact definition of thinking. However, as Turing (7) was first to point out, there is no rigorous or even adequate definition of thinking, from which the necessary detailed sequence of operations could eventually be derived. Cobb (8) defines thinking from physiological point of view as «a sequence of events depending on the interplay of messages from one part of the brain to the

other in response to external stimuli, including the messages from other brains ». Being too general, this definition is clearly of no practical use for the engineer ; nevertheless, defining thinking as a « sequence of events... in response to external stimuli » gives a good start. For, the events, of which thinking according to the physiologists consists, are of very real, physico-chemical nature ; *these events — and that is the point — may be implemented at least principally not only by neurons, but by functionally equivalent other means too.*

On the other hand, it must be remarked, that, thinking is not *whatever* a sequence of events : it has a very definite *order* (or direction). It is just this orderness which makes the simple sequence of events to thinking. The definition of Cobb states only the existence of these events, without saying anything of the orderness, about which physiologically we know presently very little.

Turing himself, instead of trying to give a definition in the usual sense, proposes (l. c.) : an *operative definition*, known today as the « imitation game ». After careful consideration of the different possible arguments he concludes that suitably programmed digital computers with an adequate store-capacity « *will eventually compete* with men in all intellectual field ».

The concept of the imitation-game and the limiting of the problems to the intellectual field seemingly brings us a step nearer to the possibility of thinking machines. For games can be defined as a *finite set of rules*, *i. e. effective operations to be performed repetitively*, which eventually could be programmed for a digital computer. In the case, when the events represent logical variables, this leads to straightforward application, resp. programming of logic ; so the most important intellectual field, namely that of scientific reasoning would be covered.

This however does not hold. In proving for instance a theorem in mathematics, which is certainly an act of thinking, one has to start from existing theorems or from a system of axioms and to apply a given set of legitimate rules or reasoning. This, however is only necessary, but not sufficient. The legitimate rules of reasoning must be applied in a *definite order*, which must at first be guessed and has to be established separately in every case. So the problem of the order of operations still remains, even if digital computers are used. It is only shifted to the programmer, who has to *invent* the order of operations, even if advanced methods of automatic programming are used.

In the brain, on the other hand, conceived as a « thinking ma-

chine », the order of the operations is determined fully automatically, in a principally other way. The brain is capable of *plausible reasoning*, in the sense of G. Polya (9), the means of which are, according to all we know presently, the *associations*, eliciting each other. If we want to have a machine, which is able to construct proofs in the rigorous sense it must be able to have associations.

The associations depend clearly on the kind and the organisation of the memory ; so we have to discuss this question next.

3

As it is well known, the store of digital computers may technically be implemented in two principally different ways. The *static-types* stores depend on a lasting, but reversible change of state of certain solids. Condensers for instance may or may not hold a charge ; suitable magnetic materials may be saturated permanently, but reversibly in either of two directions, etc.. *Dynamic-type* stores are utilizing the recirculation principle by the aid of delay lines, made either of suitable continuous media (e. g. mercury-columns or Ni-tubing) or of discrete cells of unit-delay.

In the CNS, the existence of reverberating neural chains, corresponding to the recirculating delay-lines of our computers made up from discrete cells of unit-delay, has been established anatomically long before digital computers were known, by Lorente de Nò (10). The octopus-experiments of Young (11) indicate, that these permanently connected neural chains are at least part of the memory-system : after extirpation of these chains the animal forgets earlier experience very quickly. On the other hand, there is as yet no convincing experimental evidence for the existence of a static-type memory in living organisms. The important experimental results of Penfield (12) with the direct stimulation of the temporal cortex may be due to permanently connected, closed neural chains not normally excitable because of disease.

The main feature of the memory of the living organisms is the *automatic selectivity of the remembering process*, which is clearly impossible in digital computers. This is due to the fact, that our digital computers, as John v. Neuman (13) was first to point out, are essentially *logical machines*, in the sense that they are using digital (i. e. numerical) methods of representation. They have been designed just to do arithmetic (which in turn may be regarded as a branch of logic), and nothing else. Accordingly, the stores of our computers, as a whole, have a very rigid organisation. As a

consequence, in static type memories every cell of the store must hold either one bit of information or else must be empty ; in dynamic type memories *every discrete cell of unit delay may be connected to one and only to one other cell*. Therefore, when writing a programme, one has exactly to specify in advance each and every memory-location, from where the numbers are to be operated upon and the instructions are to be extracted, instead of *generating the next instruction by the preceding one*, — as the brain obviously does. Even as logical machines, our computers have limitations : presently they can only be programmed for the elementary logical operations, i. e. only for the calculus of propositions. An obvious extension would be the extension of the capabilities to the calculus of predicates too. This would be clearly a logical machine of the second kind, owing to the fact that the existence-operator $E(x)$ and the allness-operator (x) have no simple counterparts in switches, resp. switching-circuits. These questions however we shall discuss not now.

The rigid logical organization of the memory of computers clearly precludes the truly automatic selectivity. The means for this would be, as mentioned earlier, the associations, the basis of which is the *direct perception* of similarities, by which the associations are automatically eliciting each other. It is of course quite possible to program a computer to detect similarities, but only in the *deductive sense*. In the case of two triangles for instance, one has to store the rules of similarity of triangles (three equal angles, etc...) in the memory and writes a programme for testing, whether these rules do or do not fit for the given specific case. So the machines will not *percept* similarity, but *prove* it as a result of a long reasoning process.

To percept similarities directly, it is necessary to perform some kind of *comparison of qualities*. In digital computers, the only way of performing a comparison is the forming of *logical product* of two computer-words. Now, computer-words, because of the very fact that the machines handling them are computers, correspond to *quantities* and not to *qualities* : they are expanded digitally, i. e. numerically, even if they *do not represent numbers*. The information-content of a computer-word is entirely determined by the fact, whether on a certain place of its own significance stands a zero or a one. If on one of these places a zero is replaced by a one, we get not a *similar*, but simply a *different* number. Thus by forming the logical product of two computer-words it is only possible to ascertain, whether the two computer-words *are or are not equal*, but just because the purely logical nature of the operations, *it is*

principally impossible to obtain a measure as to what extent the two word sare « equal » (similar) or « unequal » (i. e. different). The case when the two computer-words represent pure numbers must of course be disregarded, since in this case the notion of similarity has no meaning.

For the direct perception of similarities it would be necessary to have some direct (i. e. not purely logical) indication of qualities, which clearly must be supplied by the basic switching organs. Examined, however, somewhat more closely it turns out that, the flip-flops used in our computers cannot render such an indication by themselves. This can be seen as follows.

4

The flip-flops of our computers are not simply all-or-none devices ; they are rather *two-state devices, in which both mutually exclusive-states are stable.* In the static triggers one half of the tube is either conducting or else not ; in the case of dynamic triggers pulses are either continually emitted, or no pulses are emitted at all. The two states are completely equivalent and are changed if and only if a stimulus arrives ; any differences in shape, duration or amplitude of the stimuli being irrelevant, provided they exceed a given threshold. So flip-flops indicate only the *occurrence* (more precisely : the start) of an event, without any further shading. To discriminate for instance intensities or durations they must be organised into more or less complicated networks.

The neurons on the other hand are two-state devices of another kind. If a stimulus of finite duration is present, the neuron fires *repeatedly*, the repetition rate being roughly proportional to the intensity and the duration of the sequence to the duration of the stimulus. *Thus, the neuron indicates not only just the occurrence of an event, but at the same time, two qualities : the duration and the intensity too.* This in turn leads — as we shall see — to relevant consequences both in the functioning and in the organization of the whole system.

Two of the consequences have been pointed out (l. c.) already by v. Neuman. First, the CNS employs for the transmitting of information the method of *counting*, in contrast to our computers, where *digital expansion* to some base-number is used. Digital expansion is devoid of redundancy, but most economic. Counting on the other hand is most redundant, provides a great amount of safety against errors, but it is the least economic way to do

arithmetic. In addition, counting is backed up in the CNS by a high grade of multiplexing, the theoretical aspects of which have also been investigated by v. Neuman (14). To this it must be added, that owing to the summing effect the neurons act as an *integrating noise-filter*, which improves reliability still more. Reliability is evidently far more important for nature than to do arithmetic in an economic way.

To sum up: thinking is, according to what we know about it presently a real process carried by *an ordered sequence of events* in the brain, in response to (external or internal) stimuli. One of the main features of the thinking process is that the order of events is determined automatically by means of selective associations, the « technical » basis of which seems to be the ability of the CNS to percept similarities directly. This accounts — at least partly — for the automatic selectivity of the memory of a living organism too.

Even if we restrict the problem to the domain of scientific thinking, we can only say that, our present day computers are *logical machines*, in the sense that they can perform *programmed elementary logical operations*, including arithmetics ones. On the other hand, scientific thinking involves logical operations of much more general character, not only of *deductive* but also of *inductive type*. So it turns out that the problem of thinking is — from the technical point of view — equivalent with the problem of logical machines, — the word « logical » understood in quite general sense. This question we shall investigate in a forthcoming paper.

LITTERATURE

- (1) BERKELEY, E. C. *Giant brains*. Wiley, New York, 1949.
- (2) WILKES, M. N. *Can machines think?* Proc. IRE, Oct. 1953.
- (3) SHANNON, Cl. *Computers and Automata*. Proc. IRE, Oct. 1953.
- (4) Mc CALLUM, D. and SMITH, J. B. *Electronic engineering*, 1951, pp. 126.
- (5) OETTINGER, A. G. *Programming a digital computer to learn*. Phil. Mag. 7, vol. 43, p. 1243. 1952.
- (6) GREY WALTER, W. *The living brain*. W. W. Norton Co, London, 1953
- (7) TURING, A. M. *Computing machinery and intelligence*. Mond. Oct. 1950.
- (8) COBB, St. *On the nature and locus of mind*. Archives for neurology and psychiatry, vol. 67, 1952.

(9) POLYA, A. *Mathematics and plausible reasoning*, vol. II : *Patterns of plausible inference*.
Trad. française : VALLÉE, R. et COUFFIGNAL, L. *Les mathématiques et le raisonnement plausible*. Gauthier-Villars, Paris, 1957.

(10) YOUNG, J. Z. *Discrimination and learning in Octopus*. Conference on Cybernetics, 1952, J. Macy Foundation.

(11) PENFIELD, W. *Memory mechanism*. Archives of neurology and psychiatry, vol. 67, Feb. 1952.

(12) NEUMAN, J. V. *The general and logical theory of automata*. In Hixon Symposium, Wiley and Sons, New York, 1951.

(13) NEUMAN, J. V. *Probabilities logics*. Calif. Inst. of Technology, Lecture Jan, 1952.

L'automation — Où en sommes-nous ?

par Robert J. VAN EGTEN,

Ingénieur,

Chef du laboratoire central d'électronique, S. A. FABELTA (Gand)

i. — Pourquoi l'Automation ?

Quelque puérile et vaine que puisse paraître pareille question, je crois cependant qu'il est nécessaire, encore aujourd'hui, de la poser.

Pour peu que l'on essaye de se faire une opinion sur l'état actuel des choses, l'on est amené à considérer que — malgré qu'en apparence l'automation ne se discute plus — il règne, pour le moins, une certaine confusion faite d'inquiétude, d'incompréhension, dans bien des cas d'ignorance profonde de ce qu'implique l'automation, voire des raisons pour lesquelles, inévitablement, la majorité des industries seront automées ou ne seront pas.

Mentalité d'attente aussi, qui ne va pas sans une certaine abdication : « Que les autres commencent... ».

Pourquoi l'automation ? Mais, en tout premier lieu, pour une raison absolue, tyrannique, inéluctable : la recherche moderne a dévoilé les moyens qui rendent l'usine automatique possible — donc l'usine automatique sera, tout simplement parce qu'elle est possible.

Il a toujours existé, entre la pensée des chercheurs et ses contemporains, un large fossé qui fait que, comme on ne parle pas le même langage de part et d'autre, il faut un temps considérable pour que, par un lent phénomène d'osmose, les découvertes de la recherche deviennent assimilables par le commun des mortels.

Je crois que les historiens de l'avenir caractériseront notre époque comme étant celle où ce fossé a commencé à se rétrécir parce que, d'une part, la recherche s'est organisée suivant un concept de productivité des idées, et le chercheur est sorti de sa tour d'ivoire ; d'autre part, le niveau scientifique de la pensée de l'utilisateur

s'est élevé. Il en résulte que l'utilisateur et le chercheur se rapprochent.

Le premier phénomène est actuel ; le second n'existe encore qu'à l'état d'indices, et nous sommes encore loin de compte : n'a-t-on pas, récemment, entendu un gros industriel déclarer : « Einstein ? Qui est-ce, au fond ? Pas grand'chose : il se fait à peine \$ 7.000 par an ! » et un autre, avocat très coté, parlant de l'infinie déception que lui cause son fils : « c'est un brave petit, mais il n'est pas très brillant : il veut être un scientifique, un de ces types qui restent dans leur coin et inventent des choses... »¹. Ou encore, au cours du 1^{er} Congrès International de Cybernétique, un groupe de trois industriels, dans la salle, qui se sont levés sur la remarque de l'un d'eux : « Tout cela ne sont QUE des histoires d'ingénieurs : allons-nous en... »

Une des tâches qui incombent à ceux d'entre nous qui nous attachons à promouvoir les techniques nouvelles est justement une mission d'information de l'industriel et de ses collaborateurs, tendant à les familiariser avec les moyens, souvent insoupçonnés, que la science moderne met à leur disposition et avec les procédures d'organisation de ces moyens. Ceci afin qu'ils soient en mesure de répondre avec efficience aux exigences du consommateur moderne sous la pression de l'évolution.

Pourquoi l'automation ? Nous nous trouvons devant une population de consommateurs en état de constante expansion, population qui exige un niveau d'existence de plus en plus élevé, représenté par la possibilité d'acquisition non seulement de moyens de subsistance de plus en plus raffinés, mais surtout de ce que l'on a — à tort — tendance à appeler « le superflu », qui n'est en somme, qu'un indice de confort. Il suffit, pour s'en convaincre si besoin était, de consulter tant les statistiques démographiques que les statistiques de production de biens représentatifs, et d'extrapoler ces chiffres en probabilités pour l'avenir.

Ailleurs, des millions d'êtres humains savent, de nos jours, ce qu'est la faim, savent ce que c'est que d'aller nus, à peine protégés contre l'ambiance ; non seulement faudra-t-il les nourrir, les habiller, les éduquer, mais très rapidement ils en arriveront à exiger des autos, des réfrigérateurs, la télévision, des salles de bain et le chauffage central — pour ne parler que des commodités qui, pour nous, sont banales.

Donc, il faut produire, toujours plus, toujours meilleur, TOUJOURS MOINS CHER, et toujours PLUS VITE.

1. « *Instruments and Automation* ». Décembre 1957.

Or, les usines à moyens humains sont arrivées à un degré d'efficience tel qu'il y a peu d'espoir de pouvoir encore augmenter leur productivité d'une manière bien considérable.

L'usine à moyens humains est un système évolutif dont l'évolution se situe dans le passé. Comme tout système comparable — qu'il soit physique, social ou humain — il est caractérisé par une courbe qui tend asymptotiquement vers une limite supérieure déterminée par la philosophie du système, cette philosophie étant, dans le cas présent, caractérisée par la « manière de penser les moyens », ces moyens, en l'occurrence, étant l'action humaine assistée de machines.

L'équation qui détermine cette courbe asymptotique contient deux variables dont l'une, au moins, est sujette à saturation. Un examen même sommaire des faits indique que, de toute évidence, la variable saturée représente le facteur humain, car il n'y a pas de limite au développement possible de la machine.

Il faut, par conséquent, remplacer ce facteur humain par autre chose. Cela nous conduit, tout naturellement, à la notion d'automatisme, d'abord, de cybernétique ensuite, c'est-à-dire qu'il importe de remplacer l'homme par des machines capables d'exécuter mieux que lui, sans danger de saturation, les activités spécifiquement humaines qui sont essentiellement activités intellectuelles. L'on en viendra ensuite à utiliser des machines effectuant des opérations de caractère intellectuel que l'homme est incapable de réaliser.

Mais il ne faut pas oublier que, dans un complexe de production, il ne suffit pas de remplacer chaque homme par une machine, fut-elle de conception nouvelle et individuellement automatique. Tout comme actuellement, tous les hommes actifs dans l'ensemble de l'usine sont liés entre eux par l'organisation du travail qui, outre qu'elle assure que les actes de chaque homme soient aussi efficaces que possible, fait que l'activité de chaque individu dépend de celle de celui qui le précède dans le circuit, et conditionne celle de l'opérateur qui suit, de même faut-il que l'homme ayant pratiquement disparu du système productif, les automatismes soient à leur tour rendus interdépendants suivant un schéma d'organisation qui leur est propre et qui est différent de ce qui nous est familier : imaginer des automatismes qui, tout simplement, se substituent à l'homme dans l'exercice de ses activités actuelles serait un nonsens ruineux.

L'organisation actuelle, les machines actuelles, la disposition de ces machines, le schéma même du complexe actuel sont conçus en fonction de l'homme, de ses moyens, de sa forme physique, de ses

faiblesses. L'automatisme — attention, je n'ai pas dit « l'automate » — a des caractéristiques totalement différentes des caractéristiques de l'homme ; il est, par conséquent, impératif de REPENSER, en fonction de l'automatisme, l'ensemble du complexe industriel ; c'est là véritablement, l'automation, que l'on pourrait désigner comme étant « L'ORGANISATION DES AUTOMATISMES ». Il est cependant, bien évident que l'automation n'est possible que si l'on introduit le concept cybernétique dans la machinerie industrielle, car vous aurez beau « organiser » à refus un groupe hétéroclite de machines — oserais-je dire « intellectuellement inertes » ? — qui n'ont pas, dès l'abord, été conçues pour s'imbriquer dans le complexe avec lequel elles font indissolublement corps, vous n'arriverez jamais à un système homogène et stable si vous n'introduisez pas la notion d'information, prélevée et transmise tout au long du complexe pour y provoquer les réactions correctrices et déterminantes de la marche de tous les organes de toutes les machines — pour autant que l'on puisse encore parler de machines comme d'entités individuelles.

Il est, à la question « pourquoi l'automation ? » une réponse qui se situe dans un domaine entièrement différent de celui de l'efficience industrielle.

A l'occasion de la disparition de fait de l'esclavage pourvoyeur de main d'œuvre forcée — là aussi un système arrivé à la limite des possibilités a dû être remplacé par un système de philosophie différente — il a fallu trouver autre chose pour peupler l'industrie — qu'elle soit embryonnaire ou artisanale à l'époque ne change rien au raisonnement — des individus nécessaires à l'exécution des tâches indispensables.

Il devenait impossible, par contrainte physique, d'aller razzier les travailleurs dans leurs villages, il fallait arriver, par d'autres moyens, à convaincre les travailleurs de quitter spontanément leurs villages, non seulement pour se mettre au travail, mais encore pour s'astreindre d'une manière suivie et régulière aux tâches imposées.

Or, l'homme, au naturel, n'éprouve pas le besoin du travail, travail désignant ici l'accomplissement d'une tâche fastidieuse ou pénible, car de toute évidence une activité à laquelle on se livre par goût ne constitue pas du travail. Il fallut donc créer ce besoin, tout comme, de nos jours, on crée le besoin du téléphone, du frigidaire, ou du Coca-Cola. Il est amusant de remarquer que l'on a, essentiellement, utilisé les mêmes méthodes : par de véritables campagnes de publicité, l'on a créé des slogans à la gloire, à la no-

blesse du travail, l'on a glorifié les mains calleuses des travailleurs, et l'on est arrivé à le convaincre que la seule justification à l'existence de l'homme était le travail.

Bien sûr, nous pouvons admettre que de nos jours, sauf dans la mine et peut-être sur les quais de déchargement de nos ports, les tâches réellement pénibles ont disparu en général. Et cependant, il n'y a guère, je visitais une usine importante, où je tombai en arrêt devant une poinçonneuse. L'opérateur, par hasard, était jeune et manifestement débordant de vitalité. Son travail ? Prendre une pièce dans une caisse, la présenter au poinçon à la cadence d'une à la seconde, puis la placer dans une autre caisse, ceci tout au long des jours, des semaines et des mois... Et cependant, l'attention devait toujours être tendue, sous peine d'un bris de machine ou de l'amputation d'une main. Ce n'est pas ce qu'on appelle un travail pénible ; cela s'appelle même du « travail facile » et cela n'exige aucune qualification : donc, c'est peu payé. Voulez-vous, un instant, essayer d'imaginer la morne désespérance qui doit s'emparer de l'homme dans ces conditions, et pareil travail est-il digne de la condition humaine ?

Ici apparaît l'intention généreusement humaine qui anime le cybernéticien, car l'automation apportera, dans son sillage, une véritable libération : elle lèvera la malédiction d'Adam « tu gagneras ton pain à la sueur de ton front » — encore un slogan qui se révéla rudement efficace — en libérant l'homme pour les tâches plus nobles.

2. — *Où en sommes-nous ?*

Il y a quelque trois ans que ces deux vocables, nouveaux et prestigieux, CYBERNÉTIQUE et AUTOMATION, sont entrés dans le domaine de la vulgarisation, d'une manière souvent trop spectaculaire. De différents côtés, avec une simultanéité significative, de sources qualifiées — aussi quelques fois d'autres sources moins qualifiées — un grand nombre d'initiatives diverses se sont manifestées, tendant à instruire l'industriel de l'urgence qu'il y a à évoluer, de méthodes de travail périmées, vers des procédures plus scientifiques, et à mettre en lumière, non seulement les moyens que la technologie moderne met à sa disposition, mais encore le fait que l'idée même que l'on se fait d'une entreprise industrielle en est bouleversée.

Il ne s'agit pas de machines ; les machines ne sont qu'un moyen ; l'automation pour être valable, remet en question les concepts

selon lesquels furent pensés, jadis, non seulement l'outillage, mais la structure principielle de l'entreprise, ses méthodes et ses moyens ; il importe maintenant de reprendre le concept à la base, en fonction d'une façon de penser qui, elle-même, est nouvelle parce que cybernétique dans son essence, elle rejette systématiquement la nécessité de l'action humaine, et postule la mise en œuvre d'un complexe de machines interdépendantes ayant des réactions de qualité humaine dans l'immédiat, de qualité surhumaine dans l'avenir, même si, dans le présent, il n'est pas toujours opportun de matérialiser cette pensée dans toute sa rigueur, soit parce que des considérations économiques et sociales militent en faveur d'une évolution moins drastique, soit encore parce que, dans bien des cas d'espèce, les problèmes techniques qui restent à résoudre peuvent être formidables.

L'on doit à la vérité de reconnaître que, deci-delà, s'est manifesté un mode de pensée tendant à propager l'idée que, tout étant à peu près pour le mieux dans le meilleur des mondes depuis les dernières 25 années, il n'est réellement aucune raison de chercher des complications en voulant s'extirper de l'ornière des confortables routines. Il a été dit que « l'automation est une menace dont il importe à tout prix de limiter les dégâts... »

D'autres sources, il a été professé que, bien sûr, l'on pourrait, peut-être, envisager l'intérêt qu'il pourrait y avoir à introduire un minimum de « gadgets » plus ou moins automatiques dans les équipements industriels, mais que cela exige de longues réflexions. Et les dangereux prudents prennent tout leur temps, espérant que l'automation, cette mode lancée par quelques impulsifs avides de publicité, passera comme passent toutes les modes.

D'autres encore poursuivent, dans l'automation, la chimère des économies de main-d'œuvre. L'expérience a prouvé que cela est absolument faux : il n'existe pour l'instant, aucune installation qui a seulement commencé à se payer en termes d'économies de salaires.

Ceux d'entre nous qui ont assumé la tâche de promouvoir la cybernétique et l'automation ont commis quelques grosses erreurs — erreurs de tactique dans l'information, erreurs d'optique vis-à-vis de nos auditeurs. Nous sommes, en principe, d'abord des techniciens, et certains aspects nous paraissent tellement évidents que nous avons omis d'en parler.

Nous n'avons pas assez dit qu'une machine, en elle-même, ne représente pas l'automation : elle n'est qu'un outil, comme un

marteau, un tour, une machine à écrire, une chaudière ne sont que des outils.

C'est un véritable gaspillage de temps et de technologie que de vouloir faire automatiquement ce qui actuellement se fait à la main, alors que l'équipement serait infiniment mieux utilisé à faire des choses qui ne pouvaient se faire avant¹. Nous n'avons pas assez dit que l'économie de main-d'œuvre que l'on peut espérer obtenir est négligeable par rapport à la transformation radicale que l'automation impose à la marche de l'entreprise. Nous n'avons pas assez dit que les automatismes non plus ne sont pas l'automation : ce sont les moyens qui, simultanément avec les techniques de l'information, rendent l'automation possible. Nous n'avons pas assez dit qu'il ne sert à rien d'embaucher un certain nombre d'ingénieurs qui, s'ils améliorent le standing de l'entreprise, n'arriveront à aucun résultat s'ils n'ont pas la manière de penser spécifique de l'automation, ou, ce qui revient au même, si on ne leur donne pas la possibilité de l'appliquer.

Notre accoutumance au domaine en cause fait que nous avons pris l'habitude de décrire les actes des machines par des expressions qui, jusqu'ici, décrivaient les actes des hommes, et nous sommes tout naturellement amenés à parler de machines qui mesurent, qui jugent, qui calculent, qui se corrigeant, qui décident, et nous sommes tentés de comparer à un système nerveux les circuits complexes qui véhiculent l'information d'un système. Toutes ces expressions décrivent, dans notre esprit, très exactement ce que font nos machines, mais il est assez concevable que l'industriel moyen, qui est un homme positif, peu intéressé par « des histoires d'ingénieurs », encore mal informé et qui ne s'inquiète guère de la philosophie des techniques nouvelles, éprouve un étonnement amusé à écouter des gens, par ailleurs réputés sérieux, s'exprimer de la sorte.

J'ai dit, plus haut, que l'usine automatique sera parce qu'elle est possible. Nous devons répéter aux incrédules, aux prudents, aux timorés que l'usine automatique sera parce qu'elle constitue un moyen de production tellement plus efficient que les moyens anciens, que quiconque prétend s'accrocher à des procédures désuètes sera immanquablement désarçonné par le concurrent plus agressif : personne, sous peine de suicide, ne peut, de nos jours, se permettre le luxe de stagner. Bien plus que les travailleurs insuffisamment

1. D'après John DIEBOLD, « Learning from American mistakes », Automation Progress, Mars 1958.

formés, il est tout de même évident que ce seront les industriels incapables de s'adapter à l'évolution qui feront les frais de l'aventure. Nous ne sommes encore nulle part en matière d'automation, et il y a déjà des exemples d'entreprises qui, devant la perspective du rééquipement qui s'impose, ont préféré disparaître.

3. — « *Loose thinking* ».

« Automation » fut — et est encore — un mot fréquemment vilipendié, pour diverses raisons dont la principale, peut-être, est qu'il importe d'avoir l'esprit très ouvert et d'être parfaitement informé pour apprécier l'ampleur du domaine circonscrit par l'expression, qui englobe un grand nombre de disciplines parfois anciennes auxquelles l'évolution moderne a impari un vigoureux relief.

Il n'est guère surprenant, dans ces conditions, qu'il existe, actuellement, parmi ceux qui devront utiliser l'automation, une incroyable confusion de pensée quant à sa signification vraie. Je crois que cela est un peu de notre faute : nous avons abordé ces questions à un niveau peut-être trop élevé, certainement trop technique.

Il m'est maintes fois arrivé que des auditeurs, après avoir écouté mon exposé avec toutes les marques extérieures de l'attention qu'impose la civilité, se soient étonnés de ce que je ne les ai entretenus que de « généralités », et ont regretté que ce que je leur disais n'apportait, en aucun cas, de solution « toute cuite » aux petits problèmes qui les préoccupent dans l'immédiat. Il arrive que l'on vous demande — avec une adorable candeur — « un moyen SIMPLE de réaliser telle ou telle opération, automatiquement » (sous-entendu : en établissant la note de calcul et en traçant le schéma au tableau noir, afin qu'on puisse le copier...) alors que, souvent, il s'agit d'une question qui, attaquée sous l'angle convenable, exigerait des semaines, voire des mois d'étude. Cela est très flatteur pour l'interpellé auquel de toute évidence l'on accorde un préjugé de science infinie et une rapidité de réaction digne d'un calculateur électronique, mais cela est aussi, symptomatique d'un état de choses que, pour ma part, je considère comme extrêmement grave : l'on semble, en général, avoir perdu la faculté de penser par soi-même ; l'on est effrayé par des situations qui s'écartent de ce qui est classique et auxquelles on ne trouve pas de solutions consignées dans des aide-mémoires. Cela caractérise une paresse intellectuelle qui se matérialise par une profession de foi que l'on rencontre

trop souvent : « à rien ne sert d'inventer : il suffit de copier ce que réalisent ceux qui inventent »... « Et notez bien que cela s'appelle être réaliste et garder les pieds sur terre » et que les jeunes ne sont pas les derniers à adopter pareille attitude. Tout cela est grave, non seulement dans le cadre de ce qui nous préoccupe ici, mais d'avantage encore lorsque l'on essaye d'imaginer l'état social que pareille façon de voir prépare.

Il est d'autres raisons qui expliquent la confusion des esprits : l'automation englobe un certain nombre de disciplines, ou, pour être plus précis, de spécialités, qui, quoiqu'étant chacune de caractère indispensable dans le domaine qui lui est propre, ne représentent chacune qu'un des nombreux moyens qui sont tous nécessaires pour que le concept d'automation ait un sens. Malheureusement, il se fait que les tenants de chacune de ces spécialités sont obstinément convaincus que, à eux seuls, ils sont toute l'automation.

Et il est normal que cette confusion existe si l'on tient compte de la complexité des notions en cause, complexité qui est mise en lumière lorsque l'on compare ce qu'aujourd'hui nous appelons automation — un ensemble d'opérations en boucle fermée, elles-mêmes incluses dans d'autres circuits fermés sur eux-mêmes — avec ce que fut, il y a quelques années seulement, l'automation du type « Détroit » que, à l'époque, Harder définit comme étant « the automatic handling of materials between machines », c'est-à-dire la systématisation des machines-transfert, sans plus.

Par courant une exposition où l'on avait monté un modèle d'une chaîne automatique de fabrication de blocs-cylindres pour moteurs automobiles, j'avais un bloc en cours de transfert, et remarquai que l'un des cylindres, merveilleusement glacé, laissait apparaître une large fissure provoquée par une soufflure de la fonte. Et cependant ce bloc continuait imperturbablement son chemin vers les machines suivantes où il allait encore subir de nombreuses opérations avant que d'arriver au poste de contrôle où un opérateur humain — que nous pouvons souhaiter n'être pas distract à ce moment précis — remarquant le défaut, mettrait le bloc quasi entièrement usiné au rebut.

Voilà une chose possible avec l'automation type « Détroit » et totalement impensable en régime d'automation comme nous le concevons aujourd'hui.

Malheureusement, parce que l'automation « Détroit » est une chose simple, évidente, qui parle immédiatement à notre esprit, qui utilise des mécaniques élémentaires que nous connaissons depuis toujours, parce qu'il n'est point nécessaire pour la com-

prendre de se livrer à des raisonnements souvent abstraits qui mettent en cause des concepts inhabituels, beaucoup veulent croire qu'automer se résume à installer des machines-transfert entre les machines existantes.

Un exemple de cette façon de voir est donné par l'industrie textile. Il a été dit que cette industrie est « tellement automatisée » déjà (sic) qu'il est douteux qu'une plus ample « automation » puisse être rentable...

Or, la cadence de production textile est bloquée par deux goulots : la carte et le métier à tisser.

Le métier à tisser est un engin préhistorique, guère différent dans le principe des machines dont se servaient les Égyptiens à l'époque des Pharaons. Bien sûr, au cours des âges, on lui a ajouté quelques accessoires : un moteur-électrique, des tendeurs de chaîne, cette petite merveille qu'est la noueuse automatique, une tête qui remplace automatiquement les navettes, une tête canetteuse, et bien d'autres. Mais il n'en reste pas moins que le métier à tisser lui-même n'a pas changé, même lorsqu'il est devenu le métier Jacquard : il faut toujours lancer une navette portant le fil de trame entre les fils de chaîne ; il faut toujours poser, UN à UN, les fils de trame, et la vitesse à laquelle cela peut se faire est impitoyablement limitée par la résistance du fil. L'on ne peut poser qu'un certain nombre de fils de trame à la minute : le « battement » du métier se chiffre en « coups par minute », alors que, pour que la cadence de production puisse se hausser au niveau moderne, c'est par centaines de coups à LA SECONDE, qu'il faudrait pouvoir compter, voire par milliers.

Il y a ici un exemple remarquable de la MAUVAISE FAÇON DE PENSER : l'on semble s'être hypnotisé sur la machine ; l'on a essayé d'améliorer le métier à tisser ; jusque tout récemment, personne ne semble avoir songé à REPENSER LE TISSU.

Cette mauvaise façon de penser est plus répandue qu'on ne le croit : généralement, lorsque l'on parle AUTOMATION, l'on pense immédiatement machines, feed-back, calculateurs électroniques, alors que la toute première question à poser est « le produit, sous sa forme actuelle, se prête-t-il à une fabrication automatisée ? Si non, comment faut-il modifier ce produit pour qu'il puisse être réalisé automatiquement ? »

Si l'ingénieur éprouve du plaisir à réaliser de belles machines, il ne faut tout de même pas oublier que ce n'est pas là la raison d'être de l'automatisme ; c'est de PRODUIRE qu'il s'agit, de produire plus, plus vite, de meilleure qualité, et beaucoup moins cher.

Parce que l'on est tenté de penser d'abord « machine », l'on a,

assez généralement, tendance à croire que, pour automer, il suffit de signer quelques bons de commande à quelques fournisseurs, c'est-à-dire tout simplement d'acquérir, comme ça, tout bonnement, les machines nécessaires.

Or, « acquérir les machines nécessaires à l'automation » est une expression vide de sens, et le principal reproche que l'on commence à faire avec de plus en plus d'insistance aux fabricants de machines et d'instruments est que leur méthode de promotion de vente consiste justement à accréder auprès de leurs clients l'idée que l'automation consiste simplement à leur acheter un certain nombre de machines ou d'instruments standard. Je dis « standard », car il est évident que, pour être vendables à des conditions compétitives, ces machines et instruments doivent être construits en série, donc rigidement conformes à un nombre limité de prototypes.

Il serait, pour le moins, étonnant que ces machines et ces instruments standard représentent chaque fois la meilleure solution, le meilleur moyen possible pour résoudre les problèmes d'une infinie variété que pose l'automation d'une industrie, surtout si l'on tient compte du fait que ces problèmes, lorsque le client n'a pas, au préalable, étudié minutieusement lui-même tous les aspects de l'automation, sont dans la grande majorité des cas très mal posés à un constructeur de machines qui ne connaît que très mal les caractéristiques propres de l'industrie en cause. Cela me met en mémoire une définition que j'ai lu quelque part : « l'on a d'autant plus d'imagination pour résoudre un problème que celui-ci est plus mal posé et qu'on en ignore d'avantage... ».

Les constructeurs ont, de tout temps, volontiers assisté leurs clients pour leur permettre d'utiliser convenablement les machines ou instruments qu'ils leur vendaient, et cela est parfait ainsi ; pareille forme d'assistance entre dans les normes de la profession, et constitue d'ailleurs un poste majeur dans le budget du constructeur ; mais il ne s'agit plus ici de conseiller le client sur l'utilisation du matériel : il s'agit de résoudre une gamme complexe de problèmes dont généralement le client lui-même ne se rend pas compte pour que la fourniture d'équipements standard soit possible : il faut donc, de toute nécessité, ADAPTER LES PROBLÈMES DU CLIENT AUX MACHINES OFFERTES..., et cela nous conduit bien loin de la véritable ANALYSE OPÉRATIONNELLE qui doit inévitablement précéder toute étude d'automation saine.

Bien sûr, si l'on tient à la définition de Harder, le procédé est concevable. Mais il est d'autres définitions émanant de personnalités qui doivent savoir de quoi il s'agit :

« Automation means finding better ways of doing things »¹.

« Automation is the result of better planning, improved tooling, and the application of more efficient manufacturing methods »².

« Automation is the optimum use of machines to produce high-volume, high-quality products at the lowest possible cost »³.

« Automation in its simplest form is one machine telling another what to do »⁴.

« Automation : the use of devices for making automatic decisions and efforts »⁵.

Puisque déjà l'industriel hésite à s'assurer les services d'un spécialiste — ils sont rares — et du personnel adjoint nécessaire pour mener à bonne fin cette œuvre de longue haleine que représente une conversion à l'automation, l'on se demande avec quelqu'effroi de quelle organisation devrait disposer le constructeur d'un nombre tout de même limité de types de machines qui voudrait, d'une façon valable, non seulement résoudre le problème de plusieurs de ses clients, mais encore le résoudre face à cette difficulté accrue que constitue le fait que la solution doit, de toute évidence, être axée sur l'utilisation de ses machines... L'on imagine difficilement que pareil « service » puisse être offert en prime pour l'achat de quelques équipements.

Dans la pratique, bien entendu, aucun constructeur n'est équipé de la sorte, et lorsque des « automations » sont ainsi effectuées, il ne s'agit que d'applications fort restreintes de régulations automatiques élémentaires ou d'automatisations unitaires. Il n'y aurait là pas grand mal si, au moment où, réellement, l'automation sera étudiée, il ne s'avérera que les équipements en cause sont inintégrables au circuit et constituent une perte sèche.

Un autre danger plus subtil de cet état de chose est que l'industriel ayant agi de la sorte ne fera entamer l'étude de la véritable automation de son usine qu'après s'être rendu compte de son erreur, c'est-à-dire beaucoup plus tard alors que, vraisemblablement, un concurrent plus agressif déjà automé lui fera la vie dure.

Car il ne faut tout de même pas oublier que, lorsqu'il s'agit d'une usine d'importance moyenne où ne se posent pas de trop gros problèmes, l'étude de la conversion, avant toute réalisation, prend en moyenne deux ans.

1. FORD Henry, II.

2. DAVIS, D. J., v p. Ford.

3. DEMRICK, C. J., Chrysler.

4. FRIENDLY C. W., and MURQOW E. R., C. B. S.

5. ARONSON, M. H., *Instruments and Automation*, Mars, 1957.

4. — *Les calculateurs électroniques ou « computers ».*

Il est une opinion fort répandue selon laquelle il n'y a pas d'automation sans « computer », voire que le moyen simple qui permet de distinguer l'automatisation de l'automation est l'absence ou la présence d'un calculateur.

C'est absurde. Sauf dans des cas bien précis — par exemple dans l'industrie mécanique où des fraiseuses automatiques produisent, pour fixer les idées, des cames à profil complexe sous la commande de calculateurs électroniques spéciaux dans lesquels on introduit les équations descriptives de ces profils — rien n'exige qu'un complexe DE PRODUCTION contienne un calculateur. Bien sûr, vous pourriez me répondre que, lorsqu'à un endroit donné, je mesure une caractéristique du produit, et que je procède de manière à faire apparaître un signal fonction de la tendance à l'erreur, j'extrais, en fait, la dérivée seconde de la mesure, et que, partant, la machine qui effectue l'opération est un calculateur. Je vous concède même qu'il sera électronique, mais vous admettrez tout de même qu'ainsi on sollicite un peu les mots. Le tableau change, cependant, dans le cas où TOUTE L'USINE est automatisée, et ceci comprend l'intégration dans un même circuit automatique de la production et des services administratifs — comptabilité, planning stocks, planning production, planning ventes, recherche opérationnelle, décisions de caractère directorial. Dès ce moment, le calculateur devient inévitable, pour autant, bien entendu, que toute l'organisation *ait été repensée en fonction des conditions nouvelles*, car il n'y a aucun sens à utiliser un calculateur pour faire ce qui, avant, se faisait tout aussi bien par les machines classiques à cartes perforées, à un prix de revient souvent notablement moins élevé.

A l'occasion de la mise sur le marché de calculateurs électroniques, un phénomène psychologique assez amusant — quoique regrettable dans ses effets — s'est manifesté.

Lorsque vous parlez à un dirigeant d'entreprise d'automer sa production, il est réticent et sur la défensive, parce que vous lui parlez de choses très complexes et parce que vous ne pourrez lui chiffrer la rentabilité du projet qu'après étude minutieuse. Mais lorsque vous lui parlez d'un calculateur, et que vous lui dites que non seulement la machine exécute en un éclair tous les travaux comptables de l'entreprise, mais qu'encore elle lui permet d'établir, par exemple, des prédictions de marchés et autres opérations de recherche opérationnelle qui normalement exigerait des mois ou des années de calcul, vous touchez alors le point sensible de ses

préoccupations immédiates. Si vous ajoutez que la machine lui fournira de minute en minute, s'il le désire, la situation de l'usine, sans jamais faire d'erreur ni avoir d'intempestives migraines, il sera bien près de consacrer à l'achat d'un calculateur la somme qui vous aurait permis d'automer le circuit de production.

De plus, une question de prestige intervient : le standing de l'entreprise est, indiscutablement, favorablement influencé par la présence du computer, et cela fait très bien dans le rapport aux actionnaires.

Si l'on en croit Diebold, nos amis américains ont une expérience assez décevante des calculateurs. Ils en ont un bon millier en service, et il semble bien que seul un très petit nombre soit utilisé d'une manière qui commence à faire appel à leurs possibilités ; l'on ne semble pas assez avoir dit à l'industriel que, plutôt que de faire faire par ces machines exactement ce qui, avant, se faisait très bien par les moyens humains, elles seraient beaucoup mieux exploitées si on leur faisait faire des choses qui, avant, étaient impossibles.

C'est exactement le même problème que l'on retrouve partout où il s'agit d'automation. L'on ne substitue pas tout simplement des automatismes à l'homme : il importe de repenser toute la procédure en fonction de l'automation. Je crois que l'on ne le répétera jamais assez.

Un autre problème se pose qui est spécifique du calculateur : c'est la programmation de la machine. Bien entendu, le constructeur offre des cours au personnel de son client, et, en quelques semaines, un homme moyennement doué peut devenir un bon programmeur, c'est-à-dire qu'il saura comment manipuler la machine, comment y introduire les équations préalablement traduites en language machine. Là n'est pas la difficulté : elle réside en la mise en équation des problèmes industriels, car il ne faut pas oublier que les calculateurs actuels ne sont pas encore des « machines à penser » ; ce ne sont que des machines — splendides il est vrai — qui ne font que ce qu'on leur dit de faire et si vos équations définissent erronément le problème posé, le calculateur vous résoudra imperturbablement vos équations fausses.

5. — *Les équipements électroniques.*

Si nous analysons plus avant les réactions de l'industriel devant l'automation, nous remarquons que, dans l'ensemble des moyens à mettre en œuvre, il en est un qui revêt à ses yeux, la forme d'un véritable épouvantail : l'électronique.

Pourquoi ? De nombreuses explications ont été avancées, mais pour ma part, je crois qu'il s'agit d'un complexe : l'on confond trop volontiers « électronique » avec « radio », et l'on se souvient qu'à l'époque héroïque, le récepteur passait plus souvent qu'à son tour chez l'électricien du coin qui signalait immanquablement : « une mauvaise lampe »...

Outre le fait qu'un équipement électronique paraît être une machine particulièrement mystérieuse, il semble bien que la méfiance se cristallise sur le tube à vide, que l'on imagine être d'une excessive fragilité. Il est en verre, non ?

Vous n'ignorez pas que, au début, les essais des fusées se faisaient en lançant l'engin verticalement, la tête chercheuse — électronique — étant disposée de manière à guider l'engin vers le soleil. Son combustible épuisé, la fusée basculait et venait se fracasser au contact du sol. Dans un cas, la tête chercheuse s'est séparée de la fusée avant la désintégration... et l'équipement électronique qu'elle contenait, impavide, a continué à fonctionner pendant une semaine — jusqu'à l'épuisement des batteries.

Les satellites artificiels sont équipés de circuits électroniques. Vous connaissez les énormes accélérations que subit l'objet, et les appareils électroniques résistent.

La durée de vie nominale d'un tube à vide du type radio est de 1.000 heures ; convenablement utilisés, ils « font » couramment de 3.000 à 5.000 heures. Les tubes « industriels » ont une vie nominale de 10.000 heures, et l'on en tire couramment bien d'avantage ; ici les chiffres exacts manquent, car en régime industriel, la sécurité de marche exige que l'on remplace les tubes systématiquement après leur vie nominale, c'est-à-dire longtemps avant qu'ils ne cessent de fonctionner. Les laboratoires Bell, aux U. S. A., viennent de réaliser des tubes à vide destinés à être montés dans les câbles sous-marins transatlantiques et transpacifiques, dont la durée de vie nominale est de 20 ans... (200.000 heures).

Peut-on raisonnablement parler de fragilité ?

Ceux qui nous disent : « je n'ai aucune confiance dans l'électronique » doivent raisonnablement, se faire une raison ; qu'ils le veuillent ou non, d'ici peu, ils verront « les petites boîtes noires » des équipements électroniques, ou les grandes baies de montage dans le cas des installations centralisées, prendre une importance majeure dans les équipements d'usines même non automatiques, tout simplement parce qu'un grand nombre d'opérations sont inconcevables par des moyens autres qu'électroniques.

L'on parle souvent de « partisans » de l'électronique, de « parti-

sans » de pneumatique, etc... A mon sens, cela est parfaitement oiseux. Chacune de ces disciplines a un champ d'application bien défini. Pour ce qui me concerne, tout ce qui est détection, circuits d'information et circuits de commande est électronique, parce que l'électronique fait cela infiniment mieux que d'autres moyens ; un effecteur sera électrique s'il s'agit d'une rotation, pneumatique s'il s'agit d'un mouvement linéaire ; une vanne sera pneumatique s'il s'agit de tout-ou-rien, électrique si elle est modulante. Où est le problème ? Il suffit, dans chaque cas, d'utiliser le moyen qui fait mieux que les autres l'opération requise, et il ne me viendrait jamais à l'esprit de faire des acrobaties pour pouvoir utiliser un moyen là où un autre, de par sa nature, est tout indiqué.

6. — *Conclusions.*

Dans ce qui précède, bon nombre de vérités qui me paraissent évidentes au point d'être des lapalissades ont été consignées. Je ne m'en excuse pas, car je crois qu'il est nécessaire de les redire et de les répéter.

Du point de vue de l'évolution industrielle, nous sommes arrivés, par les anciennes méthodes, à un point mort, parce que le développement du machinisme issu de la « première révolution industrielle » ainsi que les méthodes d'organisation du travail humain ont atteint un plafond. Je crois que l'automation — moyen d'introduire le concept cybernétique dans le machinisme industriel — constitue un moyen inespéré d'expansion.

L'automation bien sûr, ne se conçoit que par rapport à une industrie en expansion ; il n'y a aucun sens à vouloir automer une industrie récessionnaire ; il ne viendrait à personne l'idée de vouloir automer une fabrique de lampes à pétrole ou de harnachements pour chevaux.

Malheureusement, nos industriels — soit qu'ils aient perdu leur combativité et le goût du risque, soit peut-être parce qu'ils n'ont plus foi en la libre entreprise, soit tout simplement parce qu'ils sont mal informés — semblent n'avoir qu'une idée confuse de ce qu'implique l'automation, et, de ce fait, paraissent hésitants à l'appliquer, donnant, dans les cas les plus favorables, la préférence à des solutions de caractère moyen assez élémentaire qui ne résolvent rien, car il est bien évident que le bénéfice de l'automation n'apparaît que quand elle est complète ; il est indubitable qu'une automation partielle ne réagit que d'une manière négligeable sur la productivité de l'entreprise dans son ensemble.

Il a été dit que l'automation coûte cher, très cher. Par exemple, un tour ordinaire coûte \$ 10.000 et un tour automatique à commande électronique en coûte quelque 75.000. Bien sûr, mais on omet de dire que, selon toute probabilité, le tour automatique remplacera plusieurs tours ordinaires, et qu'en tout état de cause sa productivité et sa précision seront considérablement plus élevées. Et puis, ce n'est pas cela, l'automation : c'est sur l'ensemble qu'il faut juger, et des cas ont été cités où l'ensemble des machines nouvelles — indubitablement fort coûteuses — était moins cher que les machines anciennes déclassées, parce que le fait de repenser le processus en fonction des nouveaux moyens avait permis d'appréciables simplifications. Par ailleurs, dans de nombreux cas d'espèce, les anciennes machines modifiées — pour peu qu'elles ne soient pas trop vétustes — peuvent être gardées en service.

Ceux que, plus haut, j'ai qualifiés de « dangereux prudents » se rabattent, pour esquiver la décision ou pour la retarder, sur quelques attitudes assez pitoyables : « l'on n'invente pas dans l'industrie... » — « nous ne voulons pas essuyer les plâtres... » — « puisqu'il n'y a pas de précédents, nous ne voulons pas courir de risques... » — « laissons à d'autres le soin d'innover : s'ils réussissent, nous suivrons... » — « nous n'avons rien vu de semblable chez nos concurrents ; donc celà n'offre aucun intérêt... » faisant ainsi la preuve d'un effrayant complexe d'infériorité et d'une totale ignorance des réalités. Il est bien vrai que, pour l'instant, il n'existe, de par le monde, que cinq ou six « usines sans hommes », et nos « dangereux prudents » ont ainsi beau jeu — pour l'instant. Mais chacun sait que l'automation est œuvre de longue haleine, et il est nécessaire qu'il en soit ainsi, car il est évident qu'une conversion massive de l'industrie dans l'espace d'un petit nombre d'années provoquerait sans nul doute de difficiles incidences sociales.

Il n'en reste pas moins que, puisque d'ores et déjà l'usine automatique est possible, elle sera inéluctablement, et, quoiqu'il soit dangereux de faire des pronostics en pareille matière, je crois pour ma part que cette évolution sera achevée en l'espace d'une génération, mais il est évident que les plus dynamiques seront récompensés par la possibilité d'écrêmer les marchés.

J'admetts volontiers qu'il n'y en a guère en activité aujourd'hui. Cela ne prouve rien. Je l'ai dit au début de cet article : nous connaissons les moyens de réaliser l'usine automatique. Donc l'usine sans hommes sera, c'est une question de temps.

Je crois aussi que nous jouons à l'apprenti sorcier, et que nous devons veiller avec une extrême attention aux développements sociaux qui seront parallèles à l'automation. La possibilité s'offre à nous de libérer, une fois pour toutes, l'homme de la contrainte du travail : prenons garde à ce que nous ne l'amenions à vivre dans une fourmilière.